

Departamento Ciencias y Técnicas de la Navegación y Teoría de la Señal y Comunicaciones

Programa de Doctorado 7513

## **NÁUTICA Y TECNOLOGÍAS PARA LA DEFENSA**

Memoria de evaluación global para obtención del Grado de

### **GRADO DE DOCTOR**

Estudio y Validación de un Método simplificado de Medida para su utilización en Laboratorios de Verificación de Compatibilidad Electromagnética en el entorno Marítimo



#### **Autor**

Mohammed BAKKALI

#### **Director**

Prof. Dr. D. Carlos MASCAREÑAS Y PÉREZ IÑIGO



DANIEL GARCÍA GÓMEZ DE BARREDA. Profesor titular y Director del Departamento de Ciencias y Técnicas de la Navegación de la Universidad de Cádiz.

**HACE CONSTAR:**

Que la presente Tesis Doctoral **“Estudio y validación de un Método simplificado de medida para su utilización en Laboratorios de Verificación de Compatibilidad Electromagnética en el entorno Marítimo”** realizada por D. Mohammed Bakkali, para aspirar al Grado de Doctor, ha sido íntegramente realizada en el departamento de Ciencias y Técnicas de la Navegación de esta Universidad, bajo la dirección del Profesor Doctor Carlos Mascareñas y Pérez-Iñigo. Ha sido supervisada por mí y considero que reúne los requisitos legales vigentes para optar al grado de Doctor.

Y para que conste, expido y firmo el presente documento, en Puerto Real a 26 de Octubre de dos mil quince.



Departamento de Ciencias y Técnicas de la Navegación

Prof. Dr. Daniel García Gómez de Barreda.

Director del Departamento





CARLOS MASCAREÑAS Y PÉREZ-IÑIGO, Profesor Titular del  
Departamento de Ciencias y Técnicas de la Navegación de la Universidad  
de Cádiz

HACE CONSTAR:

Que la presente Tesis Doctoral **“Estudio y validación de un Método simplificado de medida para su utilización en Laboratorios de Verificación de Compatibilidad Electromagnética en el entorno Marítimo”** realizada por D. Mohammed Bakkali ha sido dirigida bajo mi dirección y considero que reúne los requisitos legales vigentes para optar al grado de Doctor.

Y para que conste, expido y firmo el presente documento, en Puerto Real a  
26 de Octubre de dosmil quince.

  
  
Departamento de Ciencias y Técnicas de la Navegación  
Prof. Dr. Carlos Mascareñas y Pérez-Iñigo





## Mohammed BAKKALI

Ingeniero Superior de Telecomunicaciones  
Maîtrise IEEA :Informática, Electrónica, Electrotécnica y Automática  
Máster MBA oficial en Administración y Dirección de Empresas  
Máster oficial en Ingeniería de Calidad Industrial  
DEA en Náutica y Tecnologías para la Defensa  
Miembro del Grupo de Investigación Señales Sistemas y Comunicaciones Navales (S2CN), de la Universidad de Cádiz  
Presidente de INTIC: Instituto de Nuevas Tecnologías de la Información y Comunicación  
Miembro de IEEE: The Institute of Electrical & Electronics Engineers

### Datos personales

Apellido: BAKKALI  
Nombre: Mohammed  
Fecha de nacimiento: 26/06/1980  
Domicilio: Avenida Andalucía 34, Ático, 14550, Montilla (Córdoba)  
Teléfono: (+34) 635 84 87 26  
Correo electrónico: medcasem@hotmail.com

### Situación profesional actual

Puesto: Ingeniero de Control y Comunicación  
Organismo: COMPANIA INDUSTRIAL DE APLICACIONES TERMICAS (CIATESA)  
Dirección: | Polígono Industrial Llanos de Jarata | Calle Narciso Monturiol S/N | P.O.Box 14550 | Montilla | Córdoba | Tel: +34 951012600 | Fax: +34 951 01 26 10  
Página Web: <http://www.grupociat.com/>

### Formación Académica

Titulación Superior	Centro	Fecha
Master Oficial en Ingeniería de Calidad Industrial Calificación: Notable	Escuela Superior de Ingeniería, Cádiz	Diciembre 2008 (01/2008-12/2008)
Master Oficial en Administración y Dirección de Empresas Calificación: Notable	Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Cádiz	Diciembre 2007 (01/2007-12/2007)
Diploma de Estudios Avanzados (DEA) Náutica y Tecnologías para la Defensa Sobresaliente: 9/10	Universidad de Cádiz, España CASEM: Centro Andaluz Superior de Estudios Marinos	Febrero 2006 (09/2003-12/2005)
Ingeniero Superior de Telecomunicación (Homologación Ingeniero del Estado de Telecomunicaciones)	Ministerio de Educación y Ciencias, España	Agosto 2005
Ingeniero del Estado de Telecomunicaciones Notable: 15/20 Premio "Estudiante Especial"	Escuela Nacional de Ciencias Aplicadas de Tánger (ENSA), Marruecos	Enero 2004 (09/2001-07/2003)
Maîtrise IEEA (Informática, Electrónica, Electrotecnia y Automática) Calificación: Notable	Facultad de Ciencias y Técnicas de Tánger – Marruecos	junio 2001 (09/1999-07/2001)
Diploma de Estudios Universitarios DEUT: Opción Ingeniería Eléctrica.	Facultad de Ciencias y Técnicas de Tánger – Marruecos	junio 1999 (09/1997-07/1999)

## Actividades anteriores de carácter científico profesional

Puesto / Tema	Institución/Empresa	Fecha
<b>Ingeniero de Telecomunicación</b>	CIATESA, Departamento de Control y Comunicaciones, Montilla (Córdoba) <a href="http://www.grupociat.es">www.grupociat.es</a>	09/2011- Actualmente
<b>Titulado Superior de Investigación</b> *Proyecto Archivator - QtCreator, C++, Python - Linux (Kubuntu) - XML, Xerces	<b>Tedial &amp; Universidad de Málaga</b> <a href="http://www.tedial.com">www.tedial.com</a>	Octubre 2010 – junio de 2011
<b>Ingeniero de Investigación</b> <b>Proyecto 1:</b> CENIT-ADAPTA: Tecnologías de funciones lateral Inteligentes y adaptativas- Visión Interior: información en tiempo real de tamaño, posición y postura de los ocupantes - Stereo Vision - Eye-RIS Smart Camera - Rectificación de Cámaras - Algoritmos de “Matching SAD/SSD” <b>Proyecto 2:</b> Diseño y desarrollo de algoritmos de visión cooperativa y de una infraestructura de red inalámbrica para sensores de visión - WSN: Wireless Sensor Network - Crossbow Motes: Broadcast Communication, GPIO, UART, Packets Transmission - Eye-RIS Vision System - TinyOS, nesC& C, Anafocus FPP	<b>Anafocus &amp; Universidad de Sevilla</b> - Parque Tecnológico Isla de la Cartuja - Sevilla <a href="http://www.anafocus.com">www.anafocus.com</a> <b>CSIC, IMSE-CNM</b> Consejo Superior de Investigación Científicas, Instituto de Microelectrónica de Sevilla. <a href="http://www.imse-cnm.csic.es">www.imse-cnm.csic.es</a>	Septiembre 2008 – Octubre 2010
<b>Técnico en Telecomunicación</b> Instalación de cámaras IP Instalación Fibra óptica Instalación de antenas para wifi	<b>Ceginfor</b> , Conil (Cádiz)	Junio – Noviembre 2008
<b>Práctica de Fin de Máster</b> Estudio de implantación de Ceginfor en Marruecos	<b>Ceginfor</b> , Conil (Cádiz)	Julio – Enero 2008
<b>Ingeniero de Investigación</b> - EMC (Compatibilidad Electromagnética) - Radiocomunicación / Radiofrecuencia - Analizador de espectro FSH, FSL - Programación Visual Basic - Medición de Campos EM en buques	<b>Departamento Ciencia y Técnicas de la Navegación y Teoría de la Señal y Comunicación</b> , Universidad de Cádiz	Enero 2005 – Octubre 2007
<b>Práctica Ingeniero (4 meses)</b> Instalaciones de Radar, Radio VHF, Antenas, sistema AIS	<b>General Electronic Service</b> – (Casablanca)	Octubre 2004
<b>Práctica Ingeniero</b> Radio VHF, Antenas, sistema AIS, sistema VTS, VDR.	<b>Aage Hempel</b> – (Algeciras)	Agosto 2004
<b>Práctica JEFE DE PRODUCCION (9 meses)</b> Control de Producción, Cadena de producción, Calidad, Sistema de gestión de stock, motivación de personal, organización del trabajo	<b>SULTANGAZ</b> (Tánger)	Septiembre 2003
<b>Práctica de Fin de Estudios (6 meses)</b> Sistema GMDSS	<b>Universidad de Cádiz - UCA</b> (Cádiz)	Marzo 2003

## **DEDICATORIAS**

**A mis padres,**

**Khadija Azlou y Abdeslam Bakkali, por su apoyo, educación y consejos**

**A mis herman@s,**

**Imane, Hicham, Wafae y Radia**



# AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios,

Al finalizar un trabajo tan arduo y lleno de dificultades como el desarrollo de una Tesis Doctoral, es para mí un verdadero placer utilizar este espacio para expresar mis agradecimientos.

Debo agradecer de manera especial y sincera al Profesor Dr. **Carlos Mascareñas y Pérez Iñigo** por ser mi Tutor y Director de Tesis. Su apoyo y confianza en mi trabajo y su capacidad para guiar mis ideas ha sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de esta Tesis, sino también en mi formación como investigador. Le agradezco también el haberme facilitado siempre los medios suficientes, facilitando las instalaciones y los equipos adecuados, para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de esta Tesis.

Al **Dr. Ricardo Carmona**, por ofrecerme su ayuda cuando más la necesitaba, por ser una persona con la que puedo contar siempre, y los ánimos que me da, por sus consejos durante el periodo de mi estancia en el CSIC, Instituto de Microelectrónica de Sevilla, allí donde mi formación como investigador ha sido enriquecida. Muchas gracias por permitirme vivir una experiencia tan importante para mi formación como investigador

Un agradecimiento especial a **Francisco Rosa** responsable del departamento de Control y Comunicaciones de **CIATESA** por su valiosa colaboración, por su apoyo, ánimo, paciencia, y sobre todo por esa gran amistad que me brindó y me brinda, por escucharme y aconsejarme siempre.

Quiero expresar mi agradecimiento especial a mis profesores de la ENSA de Tánger, a pesar que con todos he tenido una excelente relación, debo destacar el caso de mi profesor **Dr. Fouad Lahjomri** por los momentos en los que más que un profesor se comportó como un amigo, por sus consejos, y también quiero darle la gracia por iniciarme en el mundo de las radiocomunicaciones marítimas, Muchas gracias Fouad!

Al **Dr. Reda Britel** para quien va un agradecimiento especial, por su apoyo, ánimo, su siempre atenta y efectiva colaboración, durante el periodo de tiempo de realización de ensayos, parte de esta Tesis, en la ENSA de Tánger. Muchas gracias Reda!

Quiero expresar también mi más sincero agradecimiento al **Dr. Joaquín Granado** de la Universidad de Sevilla por su colaboración durante la última fase del desarrollo de esta Tesis. Su colaboración fue de gran ayuda. Debo destacar, por encima de todo, su disponibilidad y paciencia que hizo que nuestras siempre acaloradas discusiones redundaran benéficamente tanto a nivel científico como personal. No cabe duda que su participación ha enriquecido el trabajo realizado y, además, ha significado el surgimiento de una sólida amistad.

Y, por supuesto, el agradecimiento más profundo y sentido va para mi familia. Sin su apoyo, colaboración e inspiración habría sido imposible llevar a cabo esta Tesis. A mis padres, **Khadija** y **Abdeslam**; a mis herman@s **Imane, Hicham, Wafae** y **Radia**.

Finalmente, debo agradecer a la empresa **CIATESA**, por el apoyo, así por haber facilitado mi participación a diversos congresos relacionados con mi Tesis Doctoral. A mis compañeras del departamento en CIATESA, **Carmen Rosal** y **Silvia del Río**, por todo el ánimo.



# INDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>21</b>
<b>OBJETIVO DE LA TESIS</b>	<b>23</b>
<b>CAPITULO 1: ESTADO DE LA CUESTIÓN</b>	<b>25</b>
<b>1.1- EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO</b>	<b>25</b>
<b>1.2- LA ONDA DE RADIO</b>	<b>25</b>
<b>1.3- ESPECTRO RADIOELÉCTRICO</b>	<b>25</b>
<b>1.4- ONDA ELECTROMAGNÉTICA, CAMPO ELECTROMAGNÉTICO Y RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA</b>	<b>26</b>
1.4.1- Onda electromagnética	26
1.4.2- Campo electromagnético	26
1.4.2.1- Fuentes naturales de campos electromagnéticos	27
1.4.2.2- Fuentes de campos electromagnéticos generadas por el hombre	27
1.4.3- Diferencia entre radiación y emisión electromagnética	27
1.4.4- Radiaciones Ionizantes y no Ionizantes	28
1.4.4.1- Radiación No Ionizante	28
1.4.4.2- Radiación Ionizante	28
1.4.5- Protección contra las radiaciones	28
1.4.5.1- Introducción	28
1.4.5.2- Organismos científicos	29
1.4.5.3- Organismos de Normalización	30
1.4.6- Administración y Gestión del Espectro Radioeléctrico	31
1.4.6.1- La Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT	31
1.4.6.2- Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones (CEPT)	32
1.4.6.3- España. El Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF)	32
<b>1.5- LAS RADIOCOMUNICACIONES NAVALES</b>	<b>33</b>
1.5.1- Introducción	33
1.5.2- Atribución, adjudicación y asignación de frecuencias	34
1.5.2.1- Atribución (de una banda de frecuencias)	34
1.5.2.2- Adjudicación (de una frecuencia o de un canal radioeléctrico)	34
1.5.2.3- Asignación (de una frecuencia o de un canal radioeléctrico)	34
1.5.2.4- Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítimos: SMSSM	34

1.5.2.4.1 Introducción	34
1.5.2.4.2. Zonas de navegación	36
1.5.2.4.3 Frecuencias a proteger dentro del SMSSM	37
1.5.2.4.4 Medios de comunicación e información	38
1.5.2.4.4.a- Comunicaciones por satélite	38
1.5.2.4.4.b- Llamada Selectiva Digital : LSD	40
1.5.2.4.4.c- Sistema NAVTEX	41
1.5.2.4.5. Tipos de modulación utilizadas en el SMSSM	42
<b>1.6- INTERFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA, RUIDO Y DISTORSIÓN</b>	<b>43</b>
1.6.1- Similitudes y diferencias	43
1.6.1.1- Ruido	43
1.6.1.2- Distorsión	43
1.6.1.3- Interferencia electromagnética EMI	43
1.6.2- MECANISMOS DE PROPAGACIÓN DE LAS EMI	44
1.6.2.1. Introducción	44
1.6.2.2 Perturbaciones conducidas	45
1.6.2.3 EMI de acoplamiento capacitivo o inductivo	45
1.6.2.4 Perturbaciones radiadas (EMI Radiadas)	45
1.6.3 Perturbaciones en los buques	46
1.6.4 ¿Por qué interesa medir en el dominio de frecuencia?	50
 <b>CAPITULO 2: BASES TEÓRICAS</b>	 <b>53</b>
 <b>2.1- INTRODUCCIÓN</b>	 <b>53</b>
<b>2.2- COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA EN EL ENTORNO MARÍTIMO, CONCEPTO Y LEGISLACIÓN</b>	<b>53</b>
2.2.1- Definición	53
2.2.2- Medidas de implementación EMC	54
2.2.3- Legislación	55
2.2.3.1- Introducción	55
2.2.3.2- Normativas de Compatibilidad Electromagnética	55
2.2.3.2.a- Directiva 89/336/CEE	55
2.2.3.2.b- Directiva 95/54/CE	56
2.2.3.2.c- Directiva 2004/108/CE	56
2.2.3.2.d- Directiva 96/98/CE sobre equipos marinos	57
2.2.3.2.e- Directiva 2013/52/UE sobre equipos marinos	57
2.2.3.2.f- Regulación Española sobre compatibilidad	58
2.2.4- Análisis Espectral	59

2.2.4.1- Introducción	59
2.2.4.2- Serie de Fourier	60
2.2.4.3- Transformada de Fourier	61
2.2.4.4- Anchura de Banda	61
2.2.4.5- Banda Estrecha	62
2.2.4.6- Analizadores de espectros	62
2.2.4.6.a- Analizador de espectro mediante un banco de filtros	62
2.2.4.6.b- Analizador de espectros FFT	63
2.2.4.6.c- Analizador de espectros de Barrido	64
2.2.4.6.d- Analizador Super-heterodino	65
2.2.5- Receptores de Radio	65
2.2.5.1- Introducción	65
2.2.5.2- Ganancia	66
2.2.5.3- Atenuación	66
2.2.5.4- Decibelios	66
2.2.5.5- Cálculo de decibelios	66
<b>CAPITULO 3: INSTRUMENTAL</b>	<b>69</b>
<b>3.1- INTRODUCCIÓN</b>	<b>69</b>
<b>3.2- RECEPTOR ICOM IC-PCR1000</b>	<b>69</b>
3.2.1- Introducción	69
3.2.2- Especificaciones	70
3.2.3- Funciones generales	70
3.2.3.1- Modos de Recepción	70
3.2.3.2- Características Técnicas	71
3.2.4- Interfaces comerciales	71
<b>3.3- INSTRUMENTAL DE BANDA ANCHA</b>	<b>73</b>
3.3.1- Introducción	73
<b>3.4- INSTRUMENTAL DE BANDA ESTRECHA</b>	<b>75</b>
3.3.1- Introducción	75
3.3.2- Analizador de Espectros R&S FSH3 (100 kHz a 3 GHz) con antena portátil HE200 desde 100 kHz a 3 GHz	76
3.3.3- Analizador de Espectro R&S FSL3	78
<b>3.4- Generador de señales PCE-SDG1010</b>	<b>78</b>
<b>3.5- RADIOTELÉFONO PORTÁTIL BAOFENG UV-5R</b>	<b>80</b>
3.5.1- Introducción	80
3.5.2- Características operativas	80

3.5.3- Subtonos analógicos y digitales	81
<b>3.6- GENERADOR DE SEÑALES AGILENT ENSA DE TÁNGER</b>	<b>83</b>
3.6.1- Introducción	83
<b>3.7- Tarjeta de sonido</b>	<b>84</b>
<b>3.8- Software Utilizado</b>	<b>85</b>
 <b>CAPITULO 4: SISTEMAS DESARROLLADOS</b>	 <b>87</b>
 <b>4.1- INTRODUCCIÓN</b>	 <b>87</b>
<b>4.2- CONTROL DEL RECEPTOR IC-PCR1000</b>	<b>87</b>
4.2.1- Introducción	90
4.2.2- Descripción de las funciones generales del control del IC-PCR1000 implementadas	90
4.2.2.1- Inicialización de la Comunicación	90
4.2.2.2- Encender/Apagar la radio	91
4.2.2.3- Sintonizar la frecuencia, modos y filtro de ancho de banda	94
4.2.2.3.a- Control de los MHz	98
4.2.2.3.b- Control de los kHz	99
4.2.2.3.c- Control de los Hz	100
4.2.2.3.d- Elección del modo de emisión	101
4.2.2.3.e- Filtro de ancho de banda	103
4.2.2.4- Ajuste del volumen	105
4.2.2.5- Ajuste de la función “AGC”	106
4.2.2.6- Control de la función Atenuador	107
4.2.2.7- Control de la función eliminador de ruido	107
4.2.2.8- Control de la función “squelch”	108
4.2.2.9- Inicialización automática completa del IC-PCR1000	110
4.2.2.10- Lectura de los mensajes recibidos del IC-PCR1000	111
4.2.2.11- Sistema de monitorización desarrollado mediante escaneo por el IC-PCR1000	112
<b>4.3- MUESTREO Y CAPTURA</b>	<b>114</b>
4.3.1- Muestreo continuo de la señal	114
4.3.1.1- Introducción	114
4.3.1.2- Frecuencia de muestreo (sampling rate)	115
4.3.1.3- Profundidad en bits del audio	115
4.3.1.4- El teorema de Nyquist	116
4.3.1.5- Fenómeno de Solapamiento “Aliasing”	117
4.3.2- Captura de la señal	120
4.3.2.1- Introducción	120

4.3.2.2- Captura de señales desde el IC-PCR1000	120
4.3.2.3- Descripción de las funciones utilizadas para realizar la tarea de muestreo y captura de la señal	121
4.3.2.4- Métodos de Captura de datos usados	127
4.3.2.4.1- Introducción	127
4.3.2.4.2- Método 1: captura básica	127
4.3.2.4.3 - Método 2: Bucle de captura	130
4.3.2.4.4- Método 3. Captura en continuo con doble búfer	130
<b>4.4- ESTIMACIÓN DEL ESPECTRO Y PROCESAMIENTO DIGITAL DE LA SEÑAL</b>	<b>135</b>
4.4.1- Introducción	135
4.4.2- Transformada de Fourier Rápida (FFT)	137
4.4.3- Efecto de Leakage	137
4.4.4- Enventanado	140
4.4.4.1- Introducción	140
4.4.5- Técnicas para reducir el efecto de ruido	141
4.4.5.1- Promediado	141
4.4.5.1.1- Promediado Lineal	144
4.4.5.1.2- Promediado exponencial	146
4.4.5.1.3- Promediado Máximo	147
<b>4.5- INTERFAZ GRÁFICO DE USUARIO</b>	<b>149</b>
4.5.1- Implementación del medidor de señal analógico (S-meter)	157
4.5.1.1- Introducción	157
4.5.1.2- Calibrar el control del medidor de señal (S-meter) del IC-PCR1000	158
4.5.1.2.1- Leer el valor del nivel de la señal desde el PCR1000	159
<b>4.6- BASE DE DATOS</b>	<b>164</b>
4.6.1- Base de datos en formato Microsoft Access	164
4.6.2- Base de datos de del espectro en formato imagen BMP o JPEG	165
4.6.3- Grabar los datos en Archivo Audio	165
4.6.3.1- Introducción	165
4.6.3.2- Formatos de registro digital de datos de audio	166
4.6.3.2.1- Formatos sin compresión	166
4.6.3.2.2- Formato con compresión	166
4.6.3.3- Formato WAV	167
4.6.3.4- Limitación formato WAV	167
4.6.3.5- Grabar la señal recibida en un archivo WAV	168
 <b>CAÍTULO 5: VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE MEDICIÓN</b>	 <b>171</b>

<b>5.1- INTRODUCCIÓN</b>	<b>171</b>
<b>5.2- RESOLUCIÓN EN FRECUENCIA</b>	<b>172</b>
<b>5.3- ENVENTANADO</b>	<b>187</b>
<b>5.4- PROMEDIADO</b>	<b>193</b>
5.4.1- Introducción	193
5.4.2- Promediado lineal	193
5.4.3- Promediado exponencial	195
5.4.4- Promediado Máximo	198
<b>5.5- CALIBRACIÓN Y MEDICIÓN DEL NIVEL DE LA SEÑAL</b>	<b>200</b>
5.5.1- Introducción	200
5.5.1.1- Corriente	200
5.5.1.2- Voltaje	200
5.5.1.3- Corriente Alterna (AC)	201
5.5.1.4- Amplitud	202
5.5.1.5- Magnitud	202
5.5.1.6- Errores del ADC	203
5.5.2- Error de offset	204
5.5.3- Error de linealidad	206
5.5.4 - Proceso de calibración del nivel de la señal	207
5.5.4.1- Proceso de calibración 1: CASEM – Universidad de Cádiz	209
5.5.4.2- Proceso de calibración 2: ENSA de Tánger – Universidad Abdelmalek Essaadi (UAE), Tánger (Marruecos)	212
5.5.4.3- Proceso de calibración 3: Departamento de electrónica, Universidad de Sevilla	214
5.5.4.4- Proceso de calibración 4: Departamento de electrónica, Universidad de Sevilla	219
5.5.4.5- Resultado del proceso de calibración	222
<b>5.6- DETECTAR EMISIONES UTILIZANDO EL MODO LSB</b>	<b>224</b>
<b>5.7- COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON LABORATORIO DE CERTIFICACIÓN, TEST DE COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA EMC</b>	<b>226</b>
5.7.1- Introducción	226
5.7.2- Descripción de las medidas realizadas	226
5.7.3- Normas aplicables por la empresa certificadora	230
5.7.4- Instrumental utilizado por la empresa de certificación	230
5.7.5- Resultados de las mediciones	231
<b>5.8- PROBLEMAS QUE AFECTAN AL MÉTODO DE MEDICIÓN</b>	<b>237</b>
5.8.1- Introducción	237
5.8.2- Efecto de la fuente de alimentación del PC	237
5.8.2.1- Descripción del ensayo	237
5.8.2- Efecto de la comunicación serie RS232	240

5.9- EVALUACIÓN DE LAS CAPACIDADES DEL MÉTODO	242
<b>CAPÍTULO 6: RESULTADOS</b>	<b>245</b>
6.1- REAL TIME DIGITAL SIGNAL PROCESSING AND MEASUREMENT METHOD FOR ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY VERIFICATION INTO THE SHIPS	247
6.2- REAL TIME DIGITAL SIGNAL ANALYSIS AND MEASUREMENT	255
6.3- IC-PCR1000 CONTROL USING A WIRELESS SENSOR NETWORK (WSN)	263
6.4- FEASIBILITY STUDY OF ADVANCING AND SITTING UP POWER LINE COMMUNICATION (PLC) SYSTEM UNDER ENVIRONMENT OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) INTO THE SHIPS	267
6.5- SISTEMAS DE COMUNICACIONES A TRAVÉS DE LA RED ELÉCTRICA. EFECTOS DEL PLC EN LOS UNIFAMILIARES	273
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>279</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>283</b>
<b>ANEXO1: PROGRAMACIÓN</b>	<b>289</b>
<b>ANEXO2: MEDICIONES</b>	<b>371</b>





# INTRODUCCIÓN

Cualquier buque metálico se comporta como una Jaula de Faraday de la cual es muy difícil que escapen las radiaciones generadas a bordo, ello se traduce en una muy alta probabilidad de que se produzcan problemas de Compatibilidad Electromagnética (EMC) al residir unos equipos eléctricos o electrónicos en las proximidades de otros, lo que nos sugiere la creación de un ambiente electromagnéticamente hostil.

En un buque de guerra, de mediano o gran porte, se dispone de, al menos, un analizador de espectros que se utiliza como monitor de calidad del radioenlace en HF, VHF o UHF, esto sin contar con los sensibilísimos equipos de Guerra Electrónica (EW) o de Inteligencia de Señales (SIGINT), los cuales no pueden ser desplazados por el buque dadas sus características de tamaño y peso.

En cambio, en los buques civiles, la herramienta de Análisis de Espectros brilla por su ausencia, siendo el receptor de LF-HF el único dispositivo que se puede utilizar para detectar un malfuncionamiento o una interferencia, todo ello suponiendo que a bordo haya un Oficial Radioelectrónico que sepa lo que tiene que hacer, un receptor portable y una antena portátil, lo cual es altamente improbable desde que entró en pleno vigor el Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima (1999-) [IMO07], [LEES93] y se desembarcaron a dichos Oficiales, que hasta el 1 de febrero de 1999 formaron parte de los cuadros de tripulación mínima de los buques desde que se inventó la Radio, pasando a ser personal de mantenimiento en tierra en las estaciones o compañías de mantenimiento e ingeniería de los puertos de todo el Mundo tecnificado.

El Real Decreto 1185/2006, de 16 de Octubre. Reglamento de las Radiocomunicaciones Marítimas a bordo de Buques Españoles [MINF07], indica que las empresas dedicadas a la Instalación, Mantenimiento y Reparación de equipos radioelectrónicos de los buques, deben disponer del instrumental necesario para realizar sus labores profesionales, entre las cuales están la comprobación de estabilidades de frecuencias o de la pureza de la emisión, si bien

estas últimas pruebas están restringidas a las Empresas de la categoría M-3 del citado Reglamento.

Con ello y sobre todo cuando no se dispone a bordo de un equipo calibrado de análisis de espectros es necesario recurrir al ingenio y a la simbiosis entre Electrónica e Informática que permita detectar, localizar y si es posible identificar las fuentes de ruido e interferencias que provocan los fallos de funcionamiento en el resto de los equipos del buque. La posibilidad de disponer de un software fiable, conocido, expandible e intuitivo, junto con un receptor de VLF-UHF que pesa menos de un kilogramo y puede ser alimentado con pilas será una de las mejores herramientas de que disponga el Oficial Electrotécnico del buque, personal del Departamento de Máquinas con formación de Radioelectrónico, según disponen las Enmiendas de Manila (2010) al Convenio de Formación, Titulación y Guardia para la Gente de Mar firmado por cientos de países miembros de la Organización Marítima Internacional (OMI) [IMO07].

Las interferencias causadas sobre las frecuencias del Servicio de Radionavegación y las frecuencias de Socorro son consideradas como Interferencias Perjudiciales y están perseguidas por la Ley, según se refleja en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) [RUIT04] , [UIT99]. La única manera que tiene el buque para llamar la atención, señalar su posición y conseguir ayuda es por Radio, por ello es necesario disponer de un instrumento barato y sencillo que monitorice las frecuencias citadas, a solicitud del operador o de manera automática, con el fin de evitar que cualquier ruido del buque propio pueda enmascarar una llamada de socorro de un buque ajeno, impidiendo la recepción del mensaje y provocando la pérdida de vidas humanas.

## **OBJETIVOS DE LA TESIS**

- Poner en marcha un laboratorio de verificación, esto es, un laboratorio de calidad media que permita probar los niveles de radiación electromagnética de aquellos equipos marcados, o no, con la sigla CE y proporcionar la capacidad de generar distintos protocolos de prueba que puedan ser seguidos por los distintos laboratorios de empresas que admitan esos equipos para ser instalados a bordo.
- Comprobar que el receptor ICOM IC-PCR1000 es válido para realizar medidas en banda estrecha dentro de un laboratorio de este tipo y desarrollar los programas y métodos que permitan reproducir los experimentos aquí realizados.
- Desarrollar un sistema de medición automático, programable, y eficaz.
- Disponer de una base de datos de las señales analizadas.
- Caracterizar los ruidos y emisiones e identificar sus componentes más significativas en amplitud y frecuencia.



# CAPITULO I: ESTADO DE LA CUESTIÓN

## 1.1- EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

El intervalo de señales electromagnéticas que comprende a todas las frecuencias se llama espectro electromagnético [ZIEM et alii76], [BLAK04].

Todas las señales eléctricas y electrónicas que radian al espacio libre, entran dentro del espectro electromagnético. La Figura 1.1 muestra el espectro electromagnético completo, dando tanto la frecuencia como las longitudes de onda.

## 1.2- LA ONDA DE RADIO

Las ondas de radio [MASC03] son alteraciones provocadas de los campos eléctrico y magnético de una zona del espacio. Estas alteraciones se propagan a la velocidad de la luz mediante la creación sucesiva de campos eléctricos y magnéticos ortogonales entre sí y perpendiculares a la dirección de propagación. En el año 1887, Heinrich Hertz, consiguió detectar ondas de radio que tenían una longitud del orden de un metro. La región de ondas de radio se extiende desde 30 Hz hasta 3000 GHz (Figura 1.1). Las características fundamentales de las ondas de radio son la frecuencia, la intensidad, la dirección de propagación y el plano de polarización.

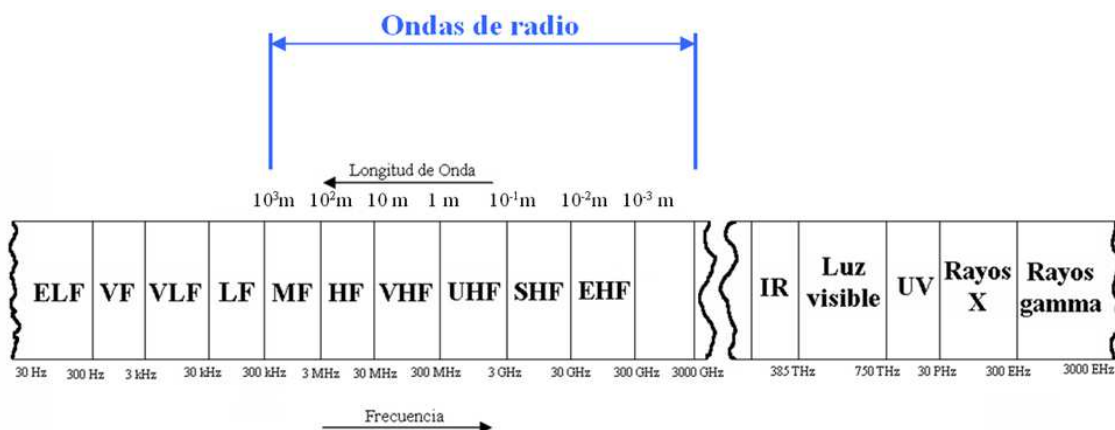


Figura 1.1: Onda de radios dentro del espectro electromagnético

## 1.3- ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

En el Registro Internacional de Frecuencias del Reglamento de Radiocomunicaciones del Sector de Radiocomunicaciones de la UIT (UIT-R) se recogen las bandas de frecuencia que se atribuyen a los distintos Servicios de Radiocomunicaciones. La Tabla 1.1 muestra clasificación y algunos de los servicios.

Banda de frecuencias	Nombre de la banda	Longitud de Onda	Designación por su Longitud	Tipo de servicio
3 – 30 kHz	VLF Very Low Frequency frecuencias muy bajas	100 – 10 Km	Miriamétricas	Radiofaros de Navegación
30 – 300 kHz	LF Low Frequency frecuencias bajas	10 – 1 Km	Kilométricas	Difusión LF y Radio en onda larga
300 – 3000 kHz	MF Medium Frequency frecuencias medias	1Km – 100m	Hectométricas	Radio AM, Radionavegación
3 – 30 MHz	HF High Frequency frecuencias altas	100 – 10 m	Decamétricas	Radio CB, Aficionados, Comunicaciones radio y Difusión HF
30 – 300 MHz	VHF Very High Frequency frecuencias muy altas	10 – 1 m	Métricas	Radio FM, Televisión (VHF), Servicios de Urgencia, Aficionados
300 – 3000 MHz	UHF Ultra High Frequency frecuencias ultra altas	1m – 10cm	Decimétricas	Televisión (UHF), Telefonía Móvil, Aficionados, Paging Televisión (UHF), Telefonía Móvil
3 – 30 GHz	SHF Super High Frequency frecuencias super altas	10 – 1 cm	Centimétricas	Microondas, Comunicaciones por Satélite, Radar, Enlace punto a punto en microondas
30 – 300 GHz	EHF Extremely High Frequency frecuencias extremadamente altas	1cm – 1mm	Milimétricas	Radar, Radio, Astronomía, Enlaces cortos en microondas

**Tabla 1.1:** Bandas de frecuencia que se atribuyen a los distintos Servicios de Radiocomunicaciones

## 1.4- ONDA ELECTROMAGNÉTICA, CAMPO ELECTROMAGNÉTICO Y RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

### 1.4.1- Onda electromagnética

Las ondas electromagnéticas son ondas de fuerzas eléctricas y magnéticas, cuyo movimiento ondulatorio se define como propagación de perturbaciones en un sistema físico [BALC92]. Las ondas electromagnéticas se caracterizan por un conjunto de parámetros, que incluyen la frecuencia ( $f$ ), la longitud de onda ( $\lambda$ ), la intensidad del campo eléctrico, la intensidad del campo magnético, la polarización eléctrica ( $P$ ), dirección del campo ( $E$ ), la velocidad de propagación ( $c$ ) y el vector de Poynting ( $S$ ).

### 1.4.2- Campo electromagnético

Los campos electromagnéticos (CEM) son una combinación de campos eléctricos y magnéticos. Se generan naturalmente o a causa de actividades humanas [HITC95] , [OMS15].

### **1.4.2.a- Fuentes naturales de campos electromagnéticos**

Los campos electromagnéticos naturales existen en la naturaleza y son, por ejemplo, los campos eléctricos causados por las cargas eléctricas en las nubes o también los campos eléctricos y magnéticos causados repentinamente por el rayo, o las fulguraciones electromagnéticas emitidas por la superficie del Sol, etc. [HITC95], [OMS15].

### **1.4.2.b- Fuentes de campos electromagnéticos generadas por el hombre**

Los campos electromagnéticos de origen humano son generados por el hombre y pueden ser creados por fuentes de frecuencias bajas, como las líneas eléctricas, los cableados y los aparatos electrodomésticos, así como por fuentes de frecuencias más altas como las ondas de radio que se utilizan para transmitir información, ya sea por medio de antenas de televisión, estaciones de radio o estaciones base de telefonía móvil [HITC95], [OMS15].

### **1.4.3-Diferencia entre radiación y emisión electromagnética**

Se puede definir la radiación electromagnética como la energía transportada en el espacio en forma de ondas electromagnéticas [HITC95]. La emisión electromagnética se entiende como el proceso de transmisión de energía electromagnética en forma de ondas desde una fuente o transmisor [COIT08].

Una definición más completa de la Radiación electromagnética es la propagación de una energía electromagnética no-deseada, a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas. Estamos hablando en este caso de que existe una fuente que genera energía hacia el espacio exterior en forma de ondas electromagnéticas. Normalmente la fuente puede ser de origen natural o artificial. La Radiación Electromagnética Natural se produce por el calentamiento de todos los cuerpos y provoca energía en distintas frecuencias. Los campos EM existen en las radiaciones cósmicas, los rayos infrarrojos, las emisiones ultravioletas, rayos gamma, llamaradas solares y otros, incluyendo a la luz o espectro visible.

La Radiación Electromagnética Artificial es generada por equipos o sistemas diseñados por el ser humano, pudiendo, a su vez, clasificarse como deseadas y perjudiciales. Cuando son deseadas, porque se originan al transmitir el mensaje por radio, se denominan Emisión, mientras que si no son deseadas, aunque sea necesaria su generación para poder transmitir el mensaje, se denominan Radiación [RUIT12].

Normalmente, a bordo de un buque, las emisiones deseadas son las de los equipos de radiocomunicaciones y de radionavegación (radar, AIS, etc), mientras que las no deseadas son aquellas que producen interferencias sobre otros equipos del barco o pueden poner en peligro la seguridad de la carga, la tripulación o los pasajeros. [PRES87].

Las mayores fuentes de radiación en los buques son, las antenas y la mayor cantidad de energía electromagnética se encuentra en sus proximidades [PRES 87].

Dentro del propio buque hay otras radiaciones que son necesarias para el funcionamiento de los equipos, y que por su baja frecuencia provocan campos magnéticos debidos a su baja frecuencia y a los dispositivos que utilizan.

#### **1.4.4- Radiaciones Ionizantes y no Ionizantes**

##### **1.4.4.a- Radiación No Ionizante**

La radiación no ionizante (RNI) engloba toda la radiación y los campos del espectro electromagnético que no tienen suficiente energía para ionizar la materia [ALLE92], [HITC95]. Es decir, la RNI es incapaz de impartir suficiente energía a una molécula o un átomo para alterar su estructura quitándole uno o más electrones. A este tipo pertenecen las emisiones producidas por las antenas de telefonía móvil y, en general, las utilizadas por los sistemas de radiocomunicación [COIT08].

En teoría son aquellas cuyas frecuencias se encuentran por debajo del Ultravioleta (UV)

##### **1.4.4.b- Radiación Ionizante**

Son aquellas con energía suficiente para producir la ionización de la materia, es decir, para arrancar un electrón de un átomo o molécula. Un ejemplo de estas son los rayos ultravioleta, los rayos X o los rayos gamma (producidos por un elemento radiactivo). Se localizan en la parte alta del espectro electromagnético. La exposición a este tipo de emisiones puede producir importantes danos en la salud [COIT08].

#### **1.4.5- Protección contra las radiaciones**

##### **1.4.5.1- Introducción**

Existen múltiples organismos y comisiones científicas, tanto nacionales como internacionales, que realizan estudios y analizan los efectos ante la exposición a campos electromagnéticos.

Algunos de los comités científicos mas reconocidos se enumeran a continuación.



También, numerosos organismos trabajan en la elaboración de normativas sobre los límites de exposición a los campos electromagnéticos y sobre diversos métodos de medida y evaluación de los mismos. Muchos de los estudios realizados no llegan a ser normativas, sino que se quedan en recomendaciones, debido a que los organismos que las han realizado no tienen capacidad para exigir su cumplimiento. Sin embargo, entidades como el CENELEC a nivel europeo o la FCC en Estados Unidos desarrollan normativas de obligado cumplimiento.

#### **1.4.5.2- Organismos científicos**

##### **1.4.5.2.a- ICNIRP**

La Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) es una comisión científica independiente, creada por la Asociación Internacional de Protección Radiológica en 1974 para mejorar la protección frente a las radiaciones no ionizantes en beneficio de las personas y del medio ambiente. La ICNIRP es la organización no gubernamental oficialmente reconocida en materia de radiaciones no ionizantes por la Organización Mundial de la Salud y la Oficina Internacional del Trabajo [COIT08].

##### **1.4.5.2.b- ARPANSA**

La “Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency” es una agencia gubernamental australiana cuyo objetivo es la protección de la salud y la seguridad de las personas y del entorno de los efectos de las emisiones radioeléctricas. La ARPANSA es responsable de regular todas las entidades relacionadas con actividades nucleares o de emisiones radioeléctricas del país y llevar a cabo políticas de protección de las mismas [COIT08].

##### **1.4.5.2.c- COMAR**

El Comité sobre el Hombre y la Radiación (Committee on Man and Radiation) está constituido por un grupo de expertos en temas de salud y seguridad relacionados con los campos electromagnéticos. Es el Comité Técnico de la Sociedad de Ingeniería en Medicina y Biología del IEEE [COIT08].

##### **1.4.5.2.d- National Radiological Protection Board (NRPB)**

El Consejo Nacional para la Protección contra la Radiación es una organización independiente que informa al gobierno inglés sobre estándares de protección contra las radiaciones de las ondas electromagnéticas tanto ionizantes como no ionizantes [COIT08].

#### **1.4.5.2.e- OMS**

La Organización Mundial de la Salud (OMS, o WHO por sus siglas en inglés) se fundó en el año 1948. Es una agencia especial de las Naciones Unidas y está formada por 191 Estados. La OMS colabora activamente con otros organismos internacionales entre los que destaca la ICNIRP, la UIT y la Comisión Europea [COIT08], [OMS15].

#### **1.4.5.3- Organismos de Normalización**

##### **1.4.5.3.a- Australian Communications and Media Authority (ACMA)**

La Autoridad Australiana en Comunicaciones y Medios de Comunicación fue creada en julio de 2005 como resultado de la fusión de la Australian Broadcasting Authority y la Australian Communications Authority. La ACMA regula la radiodifusión, las radiocomunicaciones y las telecomunicaciones. También se encarga de los estándares sobre los contenidos de Internet. Asimismo, administra las leyes correspondientes a la protección de los usuarios tanto en salud como en privacidad del servicio [COIT08].

##### **1.4.5.3.b- Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR)**

Es miembro del Comité Europeo de Normalización (CEN) y del CENELEC. Es la organización a través de la cual se canalizan los intereses y la participación de los agentes socioeconómicos de nuestro país en la normalización europea [COIT08].

##### **1.4.5.3.c- American National Standard Institute (ANSI)**

El Instituto Nacional Americano de Estándares es una organización privada sin ánimo de lucro fundada en 1918 que administra y coordina la estandarización en Estados Unidos y la conformidad de su cumplimiento [COIT08].

##### **1.4.5.3.d- European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC)**

El Comité Europeo de Estandarización Electrotécnica se constituyó en 1973 como una organización sin ánimo de lucro. Ha sido reconocido por la Comisión Europea de Estandarización en su campo. Elabora estándares que se aplican en toda Europa, aunque la mayoría tienen ámbito internacional, ya que se desarrollan de forma conjunta con la International Electrotechnical Commission (IEC) [COIT08].

#### **1.4.5.3.e- European Telecommunications Standard Institute (ETSI)**

El Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones es una organización no lucrativa que se dedica a desarrollar estándares de Telecomunicaciones en función de las necesidades del mercado. Está formada por miembros de 59 países de todo el mundo y representa a la Administración, a los operadores de redes, a los proveedores de servicios, a los fabricantes, a distintas entidades dedicadas a la investigación y a los usuarios [COIT08].

#### **1.4.5.3.f- Federal Communications Commission (FCC)**

La Comisión Federal de las Comunicaciones es una agencia gubernamental independiente de los Estados Unidos. Se estableció en 1934, y se encarga de regular las comunicaciones por radio, televisión, cable y satélite. Está organizada en siete departamentos diferentes que establecen y desarrollan programas de regulación [COIT08].

#### **1.4.5.3.g- International Electrotechnical Commission (IEC)**

EL IEC es un organismo que genera estándares internacionales en todos los campos de la electrónica, el electromagnetismo, la electroacústica y las telecomunicaciones. La misión principal del IEC es promover la cooperación internacional para conseguir la estandarización a nivel mundial y asegurar la conformidad con dichos estándares [COIT08].

#### **1.4.5.3.h- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)**

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos promueve los procesos de ingeniería mediante la creación, desarrollo, integración, comparación y aplicación del conocimiento de las tecnologías electrónicas y de la información para el beneficio de la humanidad [COIT08].

### **1.4.6- Administración y Gestión del Espectro Radioeléctrico**

#### **1.4.6.1- La Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT**

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (o ITU, International Telecommunications Union), es una agencia de las naciones unidas con sede en Ginebra, Suiza, tiene 154 países miembros que se reúnen a intervalos regulares para promover la cooperación y negociar intereses nacionales.

La Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones (CAMR) que tiene lugar cada dos años aproximadamente, es un ejemplo de este tipo de reuniones. Varios comités de la UIT fijan normas para varias áreas dentro del campo de las comunicaciones.

Los dos comités mas importantes son el Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones (CCIR, Comité Consultatif International des Radiocommunications) y el Comité Consultivo Internacional de Telegrafía y Telefonía (CCITT, Comité Consultatif Internatioanle Télégraphique et Téléphonique). Al CCITT se le ha cambiado a ITU-T (donde el sufijo T significa Telecomunicaciones). La UIT reúne a todos los países para discutir cómo se divide y comparte el espectro de frecuencias. Como muchas de las señales generadas en el espectro no viajan a grandes distancias, los países pueden utilizar estas frecuencias de forma simultánea sin causarse interferencias. Por otro lado, algunos intervalos de frecuencias del espectro pueden, literalmente, contener señales que viajan alrededor del mundo. Un ejemplo de esto son las señales de onda corta o de alta frecuencia (HF). Como resultado, los países deben negociar entre ellos para coordinar el uso de varias porciones del espectro de altas frecuencias [FREN 03].

#### **1.4.6.2- Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones (CEPT)**

La Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones (CEPT) es la encargada de establecer un foro europeo de discusión acerca de temas de regulación y política en el campo de los servicios postales y las telecomunicaciones.

Para ello ha establecido dos comités:

- El Comité Europeo de Regulación Postal (CERP).
- El Comité Europeo de Comunicaciones Electrónicas (ECC), que tiene la misión de desarrollar una política común de regulación de las comunicaciones electrónicas y armonizar el uso eficiente del espectro en el ámbito europeo.

La Oficina Europea de Radiocomunicaciones (ERO) es el punto de distribución de toda la documentación publicada por la ECC y proporciona información detallada acerca del trabajo que esta realiza.

#### **1.4.6.3- España. El Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF)**

La Ley 32/2003, de 3 de noviembre, General de Telecomunicaciones, establece en su artículo 43 que “la gestión del dominio público radioeléctrico y las facultades para su administración y control corresponden al Estado. Dicha gestión se ejercerá de conformidad con lo dispuesto en este Título y en los Tratados y Acuerdos internacionales en los que España sea parte, atendiendo a la normativa

aplicable en la Unión Europea y a las resoluciones y recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones y de otros organismos internacionales”.

El Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF) está inspirado en el Registro Internacional del Reglamento de Radiocomunicaciones elaborado por el Sector de Radiocomunicaciones de la UIT, y traslada al ámbito nacional las atribuciones de las diferentes bandas a los servicios contenidos en dicho Reglamento.

De acuerdo con la reglamentación internacional, las disponibilidades nacionales e internacionales del espectro de frecuencias radioeléctricas y la demanda social, el CNAF podrá establecer, entre otras, las siguientes previsiones:

La reserva de parte del espectro para servicios determinados.

Preferencias por razón del fin social del servicio a prestar.

Delimitación de las partes del espectro de frecuencias radioeléctricas que el Estado se reserva para uso propio o cesión en uso a otras Administraciones.

Previsión respecto de la utilización en el futuro de las distintas bandas de frecuencias.

## **1.5- LAS RADIOCOMUNICACIONES NAVALES**

### **1.5.1- Introducción**

Creemos que no es necesario demostrar que la Radio logró la revolución tecnológica y, sobre todo humana, en los buques a partir de los primeros años del Siglo XX. Antes de su aparición el buque era una plataforma aislada en la Mar que desaparecía sin dejar rastro cuando había un temporal o del que no se tenían noticias hasta que llegaba a tierra. Gracias a la Telegrafía Sin Hilos, y después a la radiotelefonía, los tripulantes pudieron mantener comunicaciones con sus familias en tiempo real y los armadores alterar los destinos de sus buques según las cotizaciones variables de los mercados.

Podemos considerar como algo “milagroso” recibir un mensaje en alta mar en telegrafía Morse a principios del Siglo XX, cuando a principios del siglo XXI se envían millones de whatsapps al día que incluyen fotografías o vídeos, pero, por lo general, a partir de doce millas náuticas de la costa... se vuelve al Siglo XX, aunque con velocidades y servicios mejorados y siempre de pago.

En el Registro Internacional de Frecuencias del Reglamento de Radiocomunicaciones del Sector de Radiocomunicaciones de la UIT (UIT-R) se recogen las bandas de frecuencias que se atribuyen a los distintos Servicios de Radiocomunicaciones. La Tabla 1.2 muestra clasificación y los servicios que utilizan los buques según el Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima.

Banda de frecuencias	Nombre de la banda	Longitud de Onda	Designación por su Longitud	Tipo de servicio
300 – 3000 kHz	MF Medium Frequency frecuencias medias	1Km – 100m	Hectométricas	Comunicaciones radio MF
3 – 30 MHz	HF High Frequency frecuencias altas	100 – 10 m	Decamétricas	Comunicaciones radio HF, Ayudas a la Navegación.
30 – 300 MHz	VHF Very High Frequency frecuencias muy altas	10 – 1 m	Métricas	Comunicaciones Radio VHF Marítimo y Aéreo. Radiobalizas Hombre al Agua. Radiolocalización.
300 – 3000 MHz	UHF Ultra High Frequency frecuencias ultra altas	1m – 10cm	Decimétricas	Radiobalizas Naufragio. Radionavegación. Comunicaciones vía satélite Inmarsat.
3 – 30 GHz	SHF Super High Frequency frecuencias super altas	10 – 1 cm	Centimétricas	Radares en Bandas S y X. Respondedor Radar.

**Tabla 1.2:** Bandas utilizadas por los buques acogidos al SMSSM

## 1.5.2- Atribución, adjudicación y asignación de frecuencias

### 1.5.2.1- Atribución (de una banda de frecuencias)

Es la inscripción en el cuadro de la atribución de bandas de frecuencias, de una banda de frecuencias determinada, para que sea utilizada por uno o varios servicios de radiocomunicación terrenal o espacial o por el servicio de radioastronomía en condiciones especificadas. Este termino se aplica también a la banda de frecuencia considerada [MASC11].

### 1.5.2.2- Adjudicación (de una frecuencia o de un canal radioeléctrico)

Inscripción de un canal determinado en un plan, adoptado por una conferencia competente, para ser utilizado por una o varias administraciones para un servicio de radiocomunicación terrenal o espacial en uno o varios países o zonas geográficas determinados y según condiciones especificadas [MASC11].

### 1.5.2.3- Asignación (de una frecuencia o de un canal radioeléctrico)

Autorización que da una administración para que una estación radioeléctrica utilice una frecuencia o un canal radioeléctrico determinado en condiciones especificadas [MASC11].

## 1.5.2.4- Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítimos: SMSSM

### 1.5.2.4.1- Introducción

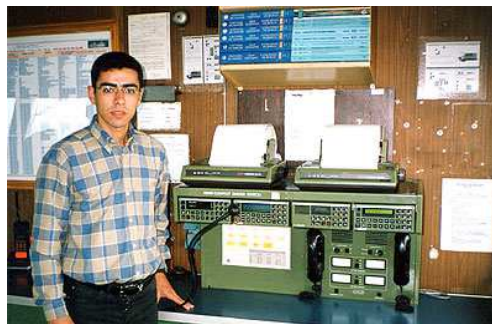
El SMSSM se considera completamente implantado a nivel mundial desde el 1 de febrero de 1999 [IMO07], [MASC11], [LEES93]. El motivo de su implantación obligatoria fue que ningún buque se hundiera en la mar sin ser escuchada su alerta de socorro por una estación basada en tierra, por lo cual

todos los buques mayores de 500TRB tienen que disponer de dos medios para llamar la atención de las Estaciones Costeras del Servicio Móvil Marítimo, a saber:

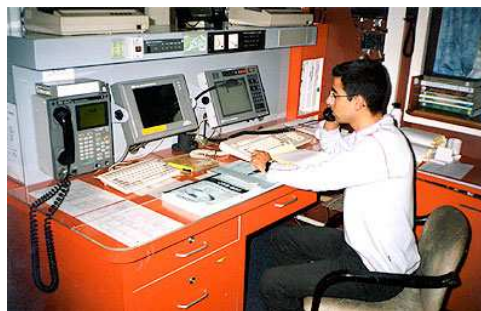
- La transmisión y recepción de llamadas selectivas digitales DSC (Llamada Selectiva Digital),
- La transmisión por satélite Inmarsat C,
- La radiobaliza de 406 MHz.

La implementación del SMSSM requirió grandes inversiones a nivel mundial y la participación de la OMI para la coordinación y regulación son fundamentales para garantizar el funcionamiento correcto del sistema.

El Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítimos (SMSSM) utilizaba las últimas tecnologías de comunicación terrestre y de satélite del Siglo XX. Con el SMSSM, cuando surge una situación de emergencia, los responsables de comunicación y de rescate en tierra, así como los buques de proximidad inmediata son alertados rápidamente, lo que mejora las posibilidades de localización de supervivientes, siempre que no haya muchas falsas alarmas [MASC11]. Además, varios servicios son ofrecidos por el SMSSM incluida la información relativa a la seguridad de la navegación en el mar [IMO07], [LEES93].



**Figura 1.2:** Equipos del SMSSM: zona A2



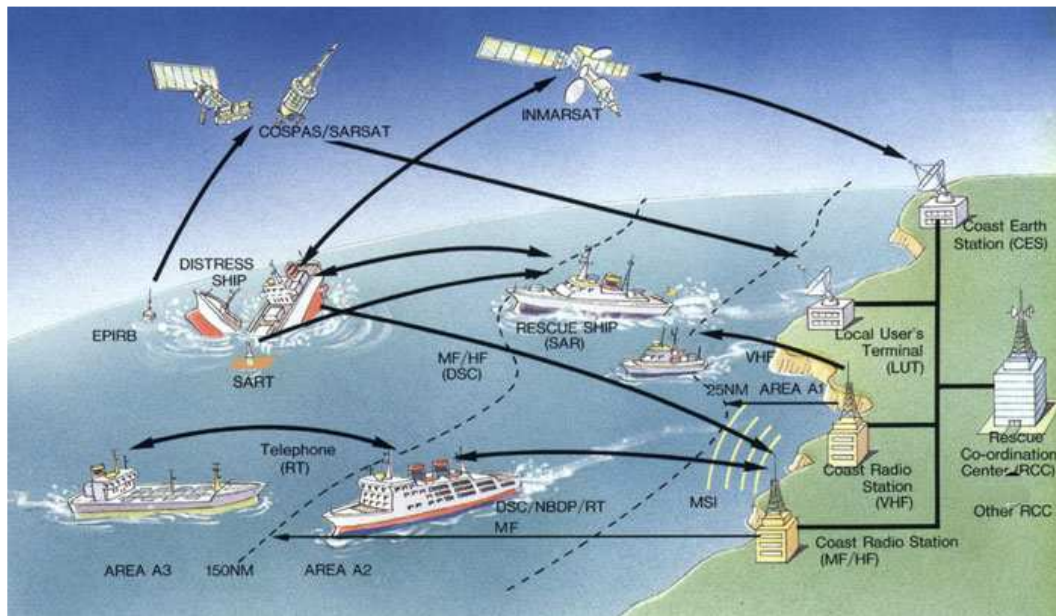
**Figura 1.3:** Equipos del SMSSM: zona A3

El sistema SMSSM permite establecer comunicaciones permanentes bidireccionales entre el buque y tierra usando:

- El sistema de llamada selectiva digital (LSD);
- La telegrafía de impresión directa de banda estrecha o radiotélex.
- La radiotelefonía
- Satélites Inmarsat.

La Figura 1.4 ilustra el funcionamiento de SMSSM en el caso de una alerta de socorro. El Centro de Coordinación de Salvamento es responsable de las situaciones de seguridad, de gestión como de emergencia y coordinación de la búsqueda y el rescate. El centro debe ser capaz de comunicarse con otros centros, oficinas de gobierno y agencias para supervisar las operaciones en el mar. El SMSSM asegura las funciones siguientes [LEES93]:

- Universalidad de la alerta de socorro;
- Una respuesta coordinada;
- Automatización de las alertas



**Figura 1.4:** Principio de funcionamiento del SMSSM  
Ilustración cedida por cortesía de [IMO07]

En el caso de llamada de socorro lanzada por un buque, el sistema SMSSM inicia inmediatamente la alarma sonora y visual que se recibe por todas las estaciones a través de una red de radiocomunicaciones.

Una vez que la alerta se ha activado, se transmiten simultáneamente los datos de identificación del buque mediante un indicativo de nueve cifras, la posición geográfica del buque mediante su latitud y longitud, la hora de la activación de la alerta, el tipo de siniestro y el modo de radiocomunicaciones a utilizar para el salvamento.

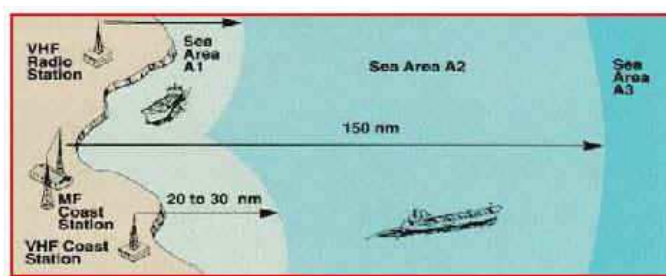
#### 1.5.2.4.2- Zonas de navegación

El sistema SMSSM cubre cuatro áreas oceánicas extendidas en todo el mundo, que son la zona A1, A2 (Figura 1.2), A3 (Figura 1.2) y A4 y cuyas características se indican en la Tabla 1.3.



Descripción de la zona	Distancia cobertura	Tipo de Radio	Frecuencia
<b>Zona A1</b> Zona costera cubierta por estaciones de ondas métricas VHF, utilizando las técnicas de LSD.	Depende de la altura de la antena (zona costera) 20-30 millas náuticas.	VHF	156.525 MHz (canal 70) para LSD 156.8 MHz (canal 16) RT
<b>Zona A2</b> Zona de cobertura de estaciones que trabajan en ondas hectométricas MF utilizando las técnicas de llamada selectiva digital, excluyendo el área A1	Zona de alta mar 150 millas náuticas	MF VHF	Incluye las frecuencia de la zona A1, además de 2187.5 kHz LSD, 2182 kHz RT, 2174.5 kHz NBDP, 518 kHz NAVTEX
<b>Zona A3</b> Área cubierta por los satélites geoestacionarios con exclusión de las zonas marítimas A1 y A2.	Entre el paralelo (70°N y 70°S)	Satélite o HF, MF, VHF	Incluye las frecuencias de las zonas A1 y A2, además todas las frecuencias HF. Incluye 1.5 – 1.6 GHz.
<b>Zona A4</b> Área fuera de las zonas A1, A2 y A3	Al norte de 70°N o bien Al sur de 70°S	HF MF VHF	

**Tabla 1.3:** Características de las zonas de navegación del sistema SMSSM



**Figura 1.5:** Límite de las zonas A, A2 y A3  
Ilustración cedida por cortesía de [IMO07]

Cada país del tratado debe determinar las zonas A1, A2, A3 y A4 de sus costas.

#### 1.5.2.4.3- Frecuencias a proteger dentro del SMSSM

##### Frecuencias de Zona A1 (VHF)

Fonía F3E: Canal 16 VHF: 156,8000 MHz.

DSC/F1B : Canal 70 VHF: 156,5250 MHz.

Datos/J2B: 518 kHz (Navtex) y 490 kHz

##### Frecuencias de Zona A2 (MF)

Fonía H3E/J3E: 2182,0 kHz

DSC/J2B: 2187,5 kHz

Datos/J2B: 2174,5 kHz

##### Zona A3: Cobertura INMARSAT

Fonía/J3E	Datos/J2B	DSC/J2B
4125.0	4177.5	4207.5
6215.0	6286.0	6312.0
8291.0	8376.5	8414.5
12290.0	12520.0	12577.0
16420.0	16695.0	16804.5 kHz

**Tabla 1.4:** Frecuencias Terrenales de la Zona A3/A4

#### **1.5.2.4.4- Medios de comunicación e información**

El SMSSM ofrece seis medios de comunicación y tres medios de información que son:

##### **Medios de comunicación**

- las ondas hectométricas (MF) entre 1605 kHz y 4000 kHz incluyendo la frecuencia de emergencia LSD 2187.5 kHz y voz 2182 kHz.
- Las ondas decamétricas (HF) entre 4000 y 27500 kHz incluyendo las frecuencias de emergencia LSD y voz asociadas en bandas 4,6,8,12 y 16 MHz
- La banda de VHF entre 156 y 162 MHz incluyendo el canal de emergencia LSD 70 (156.525 MHz) y el canal de emergencia 16 voz (156.800 MHz)
- El sistema SARSAT/COSPAS utilizando los satélites a órbitas polares y funcionando en las frecuencias 406.025 MHz y 121.500 MHz.
- El sistema INMARSAT (C,D,E,M y Mini-M) utilizando cuatro satélites geoestacionarios funcionando en la banda 1.5 y 1.6 GHz.
- Sistema de radiolocalización por radar funcionando en la banda 9200 MHz -9500 MHz.

##### **Medio de información**

- El sistema de difusión de información relativa a la seguridad marítima y que opera a través del sistema INMARSAT (recepción AGA).
- Esta información también puede ser transmitida en telegrafía de impresión directa en ondas decamétricas HF. En este caso se denomina Sistema Intensificado de Llamadas a Grupos por HF.
- El sistema de difusión de información sobre seguridad marítima emitida en la banda 415-535 kHz (NAVTEX: 518 kHz)

#### **1.5.2.4.4.a- Comunicaciones por satélite**

Las telecomunicaciones marítimas internacionales por satélite "INMARSAT" involucra a cuatro satélites que proporcionan cobertura en todo el mundo, con excepción a los polos norte y sur. Las bandas de frecuencia utilizadas por este sistema son:

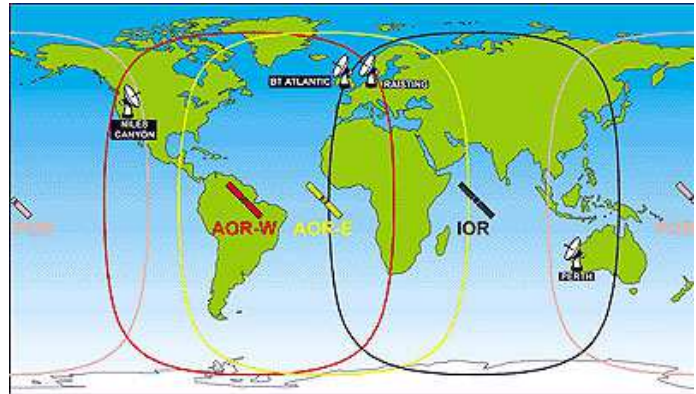
- 1530 – 1544 MHz para el enlace satélite / barco;
- 1626.5 – 1645.5 MHz para el enlace buque / satélite
- 4 y 6.4 GHz utilizadas por la tierra para la transmisión y la recepción

Hay varios estándares para las comunicaciones por satélite pero sólo dos forman parte del SMSSM y que son el Estándar C: que permite la transmisión de datos y mensajes de télex a baja velocidad y con el

sistema de almacenamiento y retransmisión (store & forward), lo que no permite la comunicación bidireccional como en los otros sistemas y el Estándar E, o radiobaliza de socorro vía Inmarsat, de precio muy elevado y por lo tanto de poco uso en los buques [MASC11]



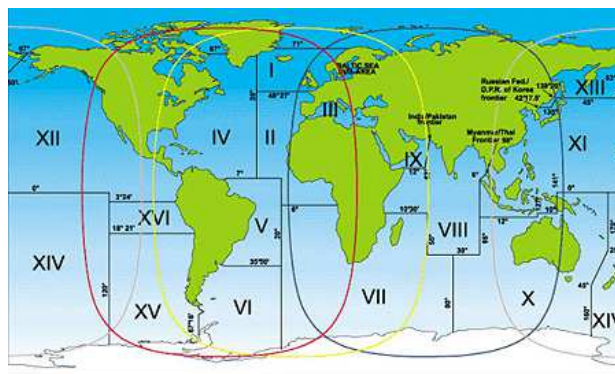
**Figura 1.6:** antena INMARSAT A



**Figura 1.7:** cobertura de los satélites INMARSAT  
Ilustración cedida por cortesía de [IMO07]

## Información meteorológica

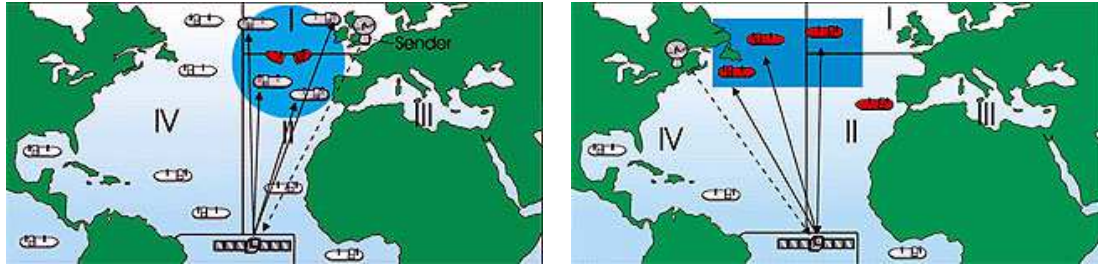
El navegante debe ser informado de las condiciones meteorológicas que pueda encontrar. En el teatro internacional, la información náutica se difunde sobre la base de una división de 16 zonas denominadas NAVAREA, cada una gestionada por un coordinador que se encarga de la difusión de la información náutica.



**Figura 1.8:** Zonas NAVAREA  
Ilustración cedida por cortesía de [IMO07]

## Sistema SAFTYNET

El sistema SAFTYNET se basa en una transmisión coordinada y una recepción automática de mensajes de información en materia de seguridad marítima a través de INMARSAT (EGC). Puede ser una NAVAREA, o una cobertura de área circular o rectangular seleccionadas y determinadas por el operador.



**Figura 1.9:** Llamada a zona provisional rectangular o circular.  
Ilustración cedida por cortesía de [IMO07]

### **Radiobalizas indicadoras de posición de siniestros (EPIRB)**

El sistema SMSSM ha proporcionado una de las últimas formas de implementar las radiobalizas de socorro que permiten radiolocalización (COSPAS/SARSAT) o la transmisión de la posición (INMARSAT E y COSPAS/SARSAT). Las alertas de socorro por satélite se procesan de dos maneras: o bien en tiempo real, dentro de la cobertura de recepción (un radio de 2500 km) o bien por satélite. Un ejemplo de un tipo de radiobaliza, COSPAS/SARSAT, la más comúnmente utilizada se muestra en la Figura 1.10.



**Figura 1.10:** Radio-Baliza de emergencia atada a una balsa salvavidas  
Ilustración cedida por cortesía de [IMO07]

#### **1.5.2.4.4.b- Llamada Selectiva Digital : LSD**

El sistema de Llamada Selectiva Digital permite la transmisión y recepción automática de una alerta de socorro en todo el mundo con alta fiabilidad, sin importar el clima.

Proporciona el acceso automático a las estaciones costeras y los barcos. El dispositivo que contiene la información permite se almacene automáticamente y que se visualice o se imprima.

La LSD puede realizar las siguientes operaciones:

- Transmisión / Recepción de llamada de socorro o de un acuse de recibo de un mensaje de socorro;
- Transmisión de una llamada a todos los barcos;
- Transmisión de una llamada selectiva a una estación en particular;
- Llamada a buques que se encuentran en una determinada zona de la tierra;
- Llamada a buques que tienen un numero de identificación de grupo;
- Transmisión directa de llamada telefónica.

### Sistema DSC en ondas métricas (LSD VHF)

La banda VHF marítima corresponde a la banda: 156-175 MHz. Las llamadas de socorro y de seguridad se realizan en el canal 70 con frecuencia 156.525 MHz. La Figura 1.11 muestra dos modelos de radios LSD VHF.



**Figura 1.11:** Radiotransceptores LSD y fonía de VHF Marítimos

### Sistema DSC en ondas hectométricas (LSD MF)

La banda marítima MF comprende desde 1605 hasta 4000 kHz. Las llamadas de socorro, urgencia y seguridad se realizan en la frecuencia 2187.5 kHz y las llamadas de rutina en las frecuencias 2189.5 kHz y 2177 kHz.

La banda marítima HF cubre el intervalo de frecuencia desde 4000 hasta 27500 kHz. Las llamadas de urgencia y de seguridad se realizan en las frecuencias: 4207.5 kHz, 6312 kHz, 8414.5 kHz, 12577 kHz, y 16804.5 kHz. Otras frecuencias específicas están reservadas a llamadas de rutina. Un ejemplo de equipo LSD HF está representado en la Figura 1.12.



**Figura 1.12:** Radio LSD MF/HF (Buque Banasa)

#### 1.5.2.4.4.c- Sistema NAVTEX

El sistema NAVTEX permite a los buques equipados con receptor especializado para recibir automáticamente en forma impresa, los avisos de navegación, el tiempo y la información de emergencia [LEES93], [IMO07]. La Figura 1.13 muestra un módulo NAVTEX típico integrado en los buques.



**Figura 1.13:** Modulo NAVTEX  
Ilustración cedida por cortesía de [FURUNO]

#### 1.5.2.4.5- Tipos de modulación utilizadas en el SMSSM

Hay muchos tipos de modulaciones diferentes que se utilizan en función de la emisión, de los cuales los más comunes son: la modulación de frecuencia y la modulación en amplitud con banda lateral única portadora suprimida. La Tabla 1.5 resume las diferentes clases de transmisión y potencias utilizadas según el tipo de comunicación en el SMSSM.

	Clase de emisión	Potencia
VHF	Transmisión G2B en los canales LSD Transmisión G3E/F3E en todos los otros canales de telefonía.	Los emisores de los buques tienen una potencia limitada a 1 y 25 W
MF	H3E, J3E en la frecuencia 2182 J3E en las otras frecuencias (telefonía) F1B /J2B para LSD y NAVTEX	Para las estaciones costeras : 5 Kw. de pico máximo Para los buques : 400 W de pico
HF	Solo la clase de emisión J3E esta autorizada para telefonía. J3C para radiofacsimil. F1B/J2B para las LSD	1.5 Kw. para los barcos y 10 Kw. para las estaciones costeras.

**Tabla 1.5:** Diferentes clases de emisión y potencia

Estos tipos de modulación de la portadora se definen como sigue [RUIT04], [RUIT12]:

##### Primer carácter

F: Modulación de frecuencia;

G: Modulación de fase;

H: Onda portadora completa con banda lateral única;

J: Portadora suprimida con banda lateral única;

##### Segundo carácter

1: una información analógica o digital sin subportadora;

2: una información analógica con subportadora;

3: un sólo canal que contiene la información analógica deseada

##### Tercer carácter

B: Telegrafía para explotación automática

C: Facsímil.

E: Telefonía

## **1.6- INTERFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA, RUIDO Y DISTORSIÓN**

### **1.6.1- Similitudes y diferencias**

Durante la transmisión de la señal, a través del medio de propagación y dentro de los mismos equipos, ocurren ciertos problemas que son la distorsión, el ruido y las interferencias, que se manifiestan como alteraciones de la forma de la señal.

#### **1.6.1.1- Ruido**

En términos generales, cualquier perturbación no intencionada de la señal puede clasificarse como “ruido”. El Ruido es una señal, de variación casual a lo largo del tiempo, que se superpone a la señal útil y por lo tanto incluye en su inteligibilidad [ZIEM et alii 76], [BALC et alii]; a causa del ruido se tiene por lo tanto un límite por debajo del cual la señal útil ya no es detectable de manera satisfactoria.

Por ruido se debe entender las señales aleatorias e impredecibles de tipo eléctrico originadas en forma natural dentro o fuera del sistema.

#### **1.6.1.2- Distorsión**

Es la alteración de la señal debido a la respuesta imperfecta del sistema a ella misma. [ZIEM et alii 76], [BALC et alii].

#### **1.6.1.3- Interferencia electromagnética EMI**

Un tipo particular de perturbación del entorno electromagnético son las interferencias electromagnéticas o EMI (del inglés “electromagnetic interferente”) y son la emisión de una energía electromagnética que, mientras están presentes, obstruyen, degradan o imposibilitan el correcto funcionamiento de otro equipo [FREE82], [TEKT12], [COIT08], [PRES87].

En el diccionario Estándar del IEEE (Dictionary of Electrical and Electronic Terms) [BALC92] se define la interferencia electromagnética EMI como el deterioro de una señal electromagnética deseada a causa de una perturbación electromagnética.

A diferencia del ruido y la distorsión, la interferencia desaparece cuando la señal deja de aplicarse.

Para que se produzca una interferencia electromagnética son necesarios tres elementos:

- Una fuente de interferencia
- Un medio de propagación
- Un receptor de la interferencia.



## **Fuentes de EMI**

Las fuentes de EMI son sumamente variadas. Una primera clasificación las divide en tres grandes grupos:

### **Naturales**

Tormentas eléctricas, el sol, radiación cósmica, etc. Por debajo de los 10 MHz la fuente predominante es el ruido atmosférico generado por tormentas eléctricas, mientras que para frecuencias superiores, las radiaciones cósmica y solar son las principales fuentes naturales de ruido.

### **Artificiales no intencionadas**

Motores de ignición de vehículos, líneas de transmisión de energía eléctrica, tubos de descarga para el alumbrado, ordenadores, electrodomésticos, aire acondicionado, etc.

### **Artificiales intencionadas**

En general, otros emisores cuya información en principio no queremos captar. Radioaficionados, estaciones de radar, emisoras de radio y televisión, teléfonos móviles, etc.

## **EMI intersistema o Interferencias entre sistemas**

Caso de equipos o sistemas físicamente diferenciados. La fuente y el receptor pueden ser equipos distintos, una aspiradora por ejemplo cuyo funcionamiento interfiere la recepción de una emisora de radio. En este caso hablamos de EMI intersistemas [LEES93], [PRES87].

## **EMI intrasistema o Interferencias dentro del propio sistema [LEES93], [PRES87].**

Caso de dispositivos, aparatos o sistemas que se encuentren en un mismo entorno electromagnético. Si estos forman parte de un único equipo.

Puede ocurrir también que la fuente y el receptor pertenezcan a un mismo equipo. Así, parte de la señal generada en las etapas de potencia de un transmisor de radio puede retornar a la fuente de señal por una masa común, alterando el funcionamiento del emisor. En este caso se dice que se ha producido EMI intrasistema.

## **1.6.2- MECANISMOS DE PROPAGACIÓN DE LAS EMI**

### **1.6.2.1- Introducción**

Según el medio de propagación que utilice la perturbación, o interferencia electromagnética, para perjudicar el funcionamiento de un equipo o la calidad de una señal, se puede establecer una



clasificación de EMI como EMI conducidas, EMI de acoplamiento capacitivo o inductivo y EMI radiadas [HEN09].

#### **1.6.2.2- Perturbaciones conducidas**

Las EMI conducidas se propagan a través de cables ya sean de alimentación, señal o tierra, y su contenido frecuencial nunca superará, en teoría, los 30 MHz. si el acoplamiento entre el emisor y el receptor es mediante un medio físico sólido.

Las fuentes de interferencia dentro del circuito del equipo o de su fuente de alimentación están acopladas al cable de red del equipo. La interferencia también puede ser acoplada, inductiva o capacitivamente, a otro cable de red.

Hasta hace poco, la atención se centraba en el cable de red como la fuente primordial de emisiones conducidas ya que los estándares basados en el CISPR sólo han especificado las mediciones sobre este cable. Sin embargo, los cables de control y de señal pueden actuar y actúan como vías de acoplamiento, y las enmiendas a los estándares también contemplaran mediciones de estos cables [HEN09].

La interferencia resultante puede aparecer como modo diferencial o como modo común o como mezcla de ambos [HEN09].

#### **1.6.2.3- EMI de acoplamiento capacitivo o inductivo**

Las EMI propagadas por acoplamiento capacitivo se producen por efecto de campo eléctrico. Su principal fuente son los puntos donde haya grandes variaciones de tensión respecto al tiempo [HEN09].

Las EMI propagadas por acoplamiento inductivo se producen por efecto de campo magnético. Su principal fuente son los bucles de intensidad que presentan grandes derivadas respecto al tiempo [HEN09].

#### **1.6.2.4- Perturbaciones radiadas (EMI Radiadas)**

Se produce una perturbación radiada si el acoplamiento tiene lugar mediante la existencia de campos electromagnéticos. [PRES 87] [HEN09].

En casi todos los equipos, las fuentes primarias de emisión son corrientes que fluyen en los circuitos (generadores de impulsos de reloj, vídeo y datos, y otros osciladores) que están montados sobre las placas de circuito impreso.

El acoplamiento radiado en VHF tiende a estar dominando por las emisiones del cable más que por la radiación directa de la placa de circuito impreso. Esto es así por la sencilla razón de que los cables típicos resuenan en la región de 30-100 MHz y de que su eficacia de radiación es mayor que las diferentes formas que puedan adoptar las placas de circuito impreso para esas frecuencias. La corriente parásita se genera en modo común desde el ruido de tierra desarrollado a través del circuito impreso en cualquier otro lugar del equipo y puede fluir a lo largo de los conductores o a lo largo de la pantalla del cable protegido [HEN09].

### **1.6.3- Perturbaciones en los buques**

A bordo de los buques hay equipos y aparatos como transceptores de radiocomunicaciones (VHF, HF, MF), sistemas de comunicación por satélite, sistemas de radar, sistemas de navegación (AIS), etc. que emiten una radiación de energía electromagnética durante su funcionamiento normal, en este caso se trata de radiación intencionada de una energía electromagnética, es decir, son emisiones.

Por otra parte, dentro de del propio buque se utilizan dispositivos y aparatos; como computadoras, impresoras, equipos de climatización, lámparas fluorescentes, refrigerador, cámaras frigoríficas, aspiradoras, cafeteras, televisores, lavadoras, etc.; que emiten energía electromagnética aunque estas emisiones no forman parte del funcionamiento normal de estos equipos [PRES 87]. Aquí se trata de radiación de energía electromagnética no intencionada, o bien no-deseada.

Las mayores fuentes de radiación en los buques son las antenas y la mayor cantidad de energía electromagnética se encuentra, por lo tanto, en sus proximidades. [PRES86], [PRES 87].

Varios estudios [RYBA 04], [PRES 87] han identificado los niveles de intensidad de campo eléctrico y magnético de algunos dispositivos. Las Tablas 1.6, 1.7 y 1.8 muestran ejemplos de estos niveles.

Cada dispositivo debe cumplir las normas vigentes, pero cuando se suma la radiación que proviene de muchas fuentes intencionadas, y no-intencionadas, se crea un ambiente electromagnético; y cuando su intensidad es importante; puede interferir e afectar al funcionamiento de muchos sistemas e equipos eléctricos y electrónicos.

Ubicación	Intensidad de campo eléctrico V/m
Sala de lavandería	0.8
Comedor	0.9
Cuarto de baño	1.2-1.5
Cocina	2.6
Dormitorio	2.4-7.8
Salón	3.3
Vestíbulo	13.0

**Tabla 1.6:** Niveles de intensidad de campo eléctrico dentro de una casa (1992)  
Ilustración cedida por cortesía de [RYBA 04]

Aparato	Intensidad de campo eléctrico V/m
Manta eléctrica	250
Caldera	130
Estéreo	90
Refrigerador	60
Plancha eléctrica	60
Batidora manual	50
Tostadora	40
Secador de pelo	40
TV de color	30
Cafetera	30
Aspiradora	16
Bombilla incandescente	2

**Tabla 1.7:** Niveles de Intensidad de campo eléctrico a 30cm de aparatos electrodomésticos 115 voltios  
Ilustración cedida por cortesía de [RYBA 04]

Aparato	Densidades de flujo magnético (mT)		
	Distancia 3 cm	Distancia 30 cm	Distancia 1 m
Estufas eléctricas (>10 kW)	6-200	0.35-4	0.01-0.1
Hornos eléctricos	1-50	0.15-0.5	0.01-0.04
Hornos de microondas	75-200	4-8	0.25-0.6
Trituradores de basura	80-250	1-2	0.03-0.1
Cafeteras	1.8-25	0.08-0.15	<0.01
Abrelatas	1000-2000	3.5-30	0.07-1
Aspiradora	200-800	2-20	0.13-2
Secador de pelo	6-2000	<0.01-7	<0.01-0.3
Maquinas de afeitar eléctricas	15-1500	0.08-9	<0.01-0.3
Televisión	25-50	0.04-2	<0.01-0.15
Lámparas fluorescentes	15-200	0.2-4	0.01-0.3
Sierras circulares	250-1000	1-25	0.01-1

**Tabla 1.8:** Densidades de flujo magnético medidos a diferentes distancias de varios aparatos 115 voltios.  
Ilustración cedida por cortesía de [RYBA 04]

Un ejemplo parecido a la industria naval, es la industria de la automoción. Se ha publicado en [RYBA 04] los sistemas de automoción pueden ser fuente de emisiones radiadas que pueda afectar a la electrónica

a bordo, o interferir con los sistemas electrónicos de los vehículos o dispositivos adyacentes a lo largo de la carretera, como la televisión, radio, etc.

Los dispositivos electrónicos activos generan emisiones de radiación durante su funcionamiento normal debido a las operaciones de conmutación, puertas lógicas, señales de control PWM (modulación por ancho de pulso), etc. [RYBA 04].

Incluso, los componentes “de estado no sólido”, tales como interruptores mecánicos, bocinas, relés, otros dispositivos inductivos, y las bujías, también pueden emitir radiación [RYBA 04].

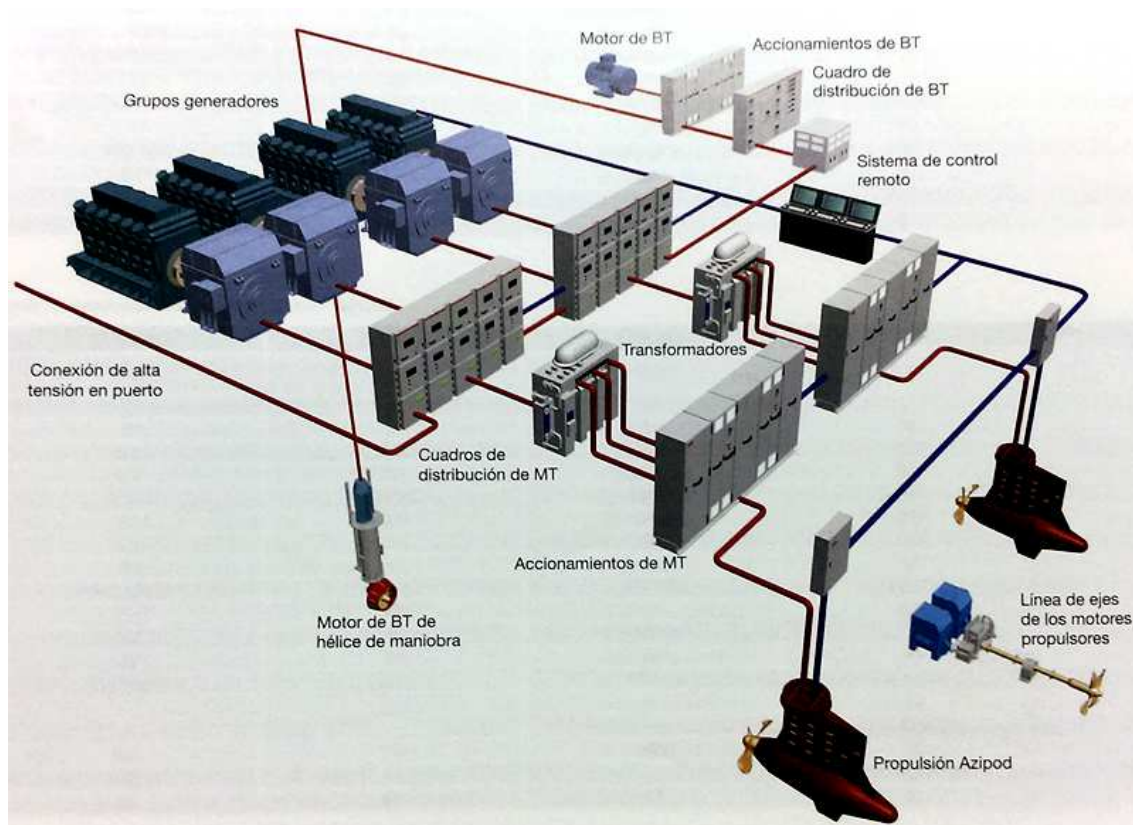
Muchos de estos dispositivos se han utilizado desde el principio de la industria automotriz, y hasta el día de hoy las normativas siguen cambiando continuamente por el fin de asegurar que se tomen medidas para evitar problemas de interferencias electromagnéticas.

La industria del automóvil ha clasificado las emisiones de los sistemas eléctricos y electrónicos de dos maneras. Se clasifican en ruidos en banda ancha (BB, Broad Band) y banda estrecha (NB, Narrow Band). Varios métodos se pueden utilizar para discriminar entre estos tipos de emisiones. Estas clasificaciones pueden variar según se utiliza en diferentes industrias.

Igual que los sistemas de automoción, los sistemas electrónicos de los buques generan radiaciones que pueden interferir a otros sistemas y a los sistemas de comunicaciones del barco y viceversa, dándose el caso de problemas de compatibilidad que deben ser atajados desde la fase de diseño con el fin de mitigar sus efectos. Para ello es necesario conocer previamente qué tipo de problemas e interferencias pueden darse.

Los buques civiles pueden contener equipos y sistemas que están radiando señales que tienen una frecuencia desde 1,6 MHz a 9 GHz, con potencias desde 1 W hasta 48 kW [PRES86] , [PRES 87].

Pero no hay que olvidar que dentro los buques hay sistemas de control de velocidad como variadores de frecuencia VDF (Figura 1.15), motores, ventiladores, fuentes de alimentación conmutadas, contactores, etc. Todos estos sistemas están unidos por cables, y redes de comunicaciones (Fieldbus, Modbus, etc). La cantidad de cables que disponen los buques es muy grande, son kilómetros de cables eléctricos (Figura 1.14) que pueden ser un medio para recibir y/o transmitir señales no deseadas a través de ellos, y producir interferencias sobre las redes de radiocomunicaciones de/en Alta Frecuencia/Onda Corta que se encuentren en sus proximidades [PRES 87].

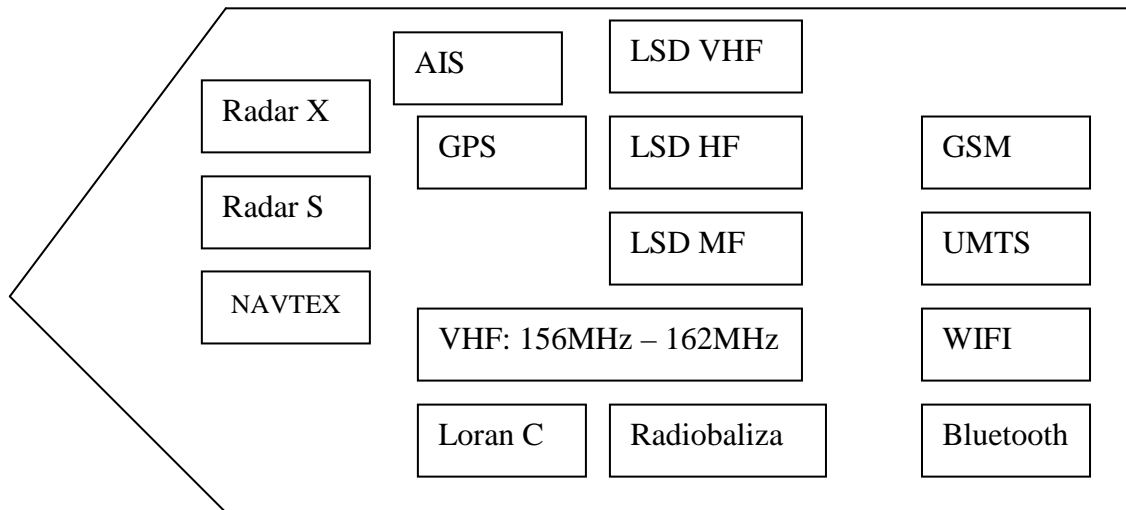


**Figura 1.14:** Esquema general de los equipos eléctricos y componentes requeridos normalmente para la maquinaria instalada a bordo  
Ilustración cedida por cortesía de [ABB11]



**Figura 1.15:** Convertidores de frecuencia PCS6000  
Ilustración cedida por cortesía de [ABB11]

Podemos representar a un buque como un sistema que contiene transmisores y receptores de radiofrecuencia, funcionando con diferentes bandas de frecuencias (MF, HF, VHF, UHF y SHF) del servicio marítimo, en diferentes modos de comunicación (llamada selectiva digital, Radiotelefonía, Radiotélex, Facsímil, Datos, Telegrafía Morse), emitiendo varios rangos de potencia, utilizando varios tipos de modulación y clases de emisión (F1B, J3E, A3E, A1A, etc.)



**Figura 1.16:** Modelo de un barco

Las Factorías Navales construyen los buques e instalan los sistemas de control del mismo a partir de subsistemas entregados por empresas subcontratadas del sector de la Electrónica y la Mecánica. La Instalación total del equipo de control del buque no está sujeta a Directivas comunitarias. Aunque cada equipo deba cumplir con unas normas de Compatibilidad Electromagnética no significa que la Instalación total sea Compatible Electromagnéticamente hablando, lo que puede dar lugar a interferencias entre subsistemas [MASC11].

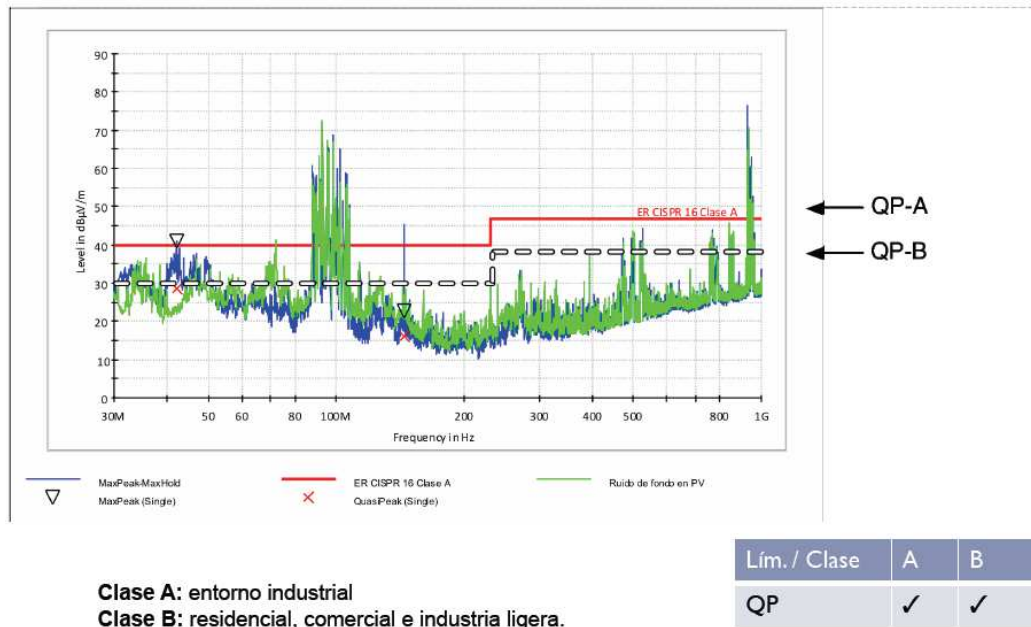
El nivel de los campos electromagnéticos en buques civiles (desde 0Hz hasta 300 GHz) es una faceta poco conocida, sobre todo en España. Existen publicaciones referentes a buques militares y son publicaciones fundamentalmente estadounidenses. Sobre buques civiles, el Grupo S2CN es el único que ha publicado resultados de medidas de radiaciones provocadas por las antenas transmisoras [SANC11], [MASC07].

#### **1.6.4- ¿Por qué interesa medir en el dominio de frecuencia?**

Para las emisiones no deseadas que se obtienen de radiaciones intencionadas y no intencionadas se usa el término interferencias electromagnéticas EMI.

Como dijimos en el párrafo 1.6.1.3 es necesario tener en cuenta estas emisiones no deseadas, que pueden ser radiadas o conducidas, para no influir (impedir) el funcionamiento de otros sistemas. Por eso, cualquier diseñador y/o fabricante de productos y equipos eléctricos o electrónicos debe realizar pruebas de niveles de emisión de frecuencias que deben cumplir con las normativas vigentes.

La Figura 1.17 es un ejemplo de estas pruebas, es el resultado de un ensayo para la certificación de unos equipos de climatización que van a ser operativos en aeropuertos. Aunque en la hora de diseño de las máquinas se tiene en cuenta el tema de la CEM, y se estudian los componentes que se van a utilizar para el control del equipo, pero una vez ensamblados todos los componentes, es necesario que el equipo entero cumpla la normativa antes de ser instalado en el aeropuerto. En algunas ocasiones hemos detectado incompatibilidad electromagnética que se tuvo que corregir para que se cumpla la norma.



**Figura 1.17:** Ensayo de compatibilidad electromagnética para certificación de equipos de climatización utilizando analizador de espectros Rhode & Swarz  
Ilustración cedida por cortesía de [EMCA12]

Como se puede observar en la Figura 1.17, el análisis de las EMI, se realiza en el dominio de frecuencia. Este dominio es mejor para detectar los componentes de frecuencia, determinar armónicos que contiene una señal, estudiar la distorsión de la señal, monitorización del espectro, medir y cuantificar las interferencias electromagnéticas.

**Los factores importantes a medir son:**

**Frecuencia:** es necesario entender el contenido **frecuencial** (espectral) de una señal, especialmente en sistemas con ancho de banda limitado.

**Potencia:** la **potencia** es otro factor de medidas que puede indicar la calidad de la señal si es adecuada, baja (indica que la señal no llega a su destino), o muy alta (una potencia alta puede provocar distorsión, causa aumento en la temperatura de funcionamiento, etc).

**Modulación:** medir la cualidad de **modulación** es importante para asegurarse de que un sistema está funcionando correctamente (adecuadamente) y que la información se está transmitiendo correctamente por el sistema.

**Distorsión:** la medición de **distorsión** es una tarea importante en las comunicaciones, es una medida crítica tanto para el receptor que para el transmisor. Una distorsión de armónicos excesiva en la salida de un transmisor puede causar interferencias con otras bandas de comunicación. Las medidas de distorsión incluye (intermodulación, armónicos y emisiones no esenciales)

**Ruido:** finalmente, el **ruido** es la señal que siempre se quiere medir. Cualquier equipo o circuito activo genera ruido. Medir este ruido y la relación S/N (señal/ruido) son importantes para caracterizar el funcionamiento de un dispositivo y su contribución en generar ruido en el sistema entero.

El proceso de medición, generalmente es costoso, porque el material que se debe utilizar para medir es muy caro. Un factor muy importante que hay que tener en cuenta a la hora de medir es la anchura de banda de la emisión o de la radiación. Para poder detectar señales con frecuencias próximas es necesario tener un sistema que permite medir en banda estrecha eso ofrece la posibilidad de detectar con precisión la señal fuente y origen de la interferencia.



## CAPITULO 2: BASES TEÓRICAS

### 2.1- INTRODUCCIÓN

En este capítulo vamos a explicar por qué es necesario medir en frecuencia y en el tiempo. Fundamentalmente porque lo exige la legislación europea de garantía de la calidad. También veremos los conceptos fundamentales en el análisis de espectros, sin querer convertir este capítulo en un libro específico sobre el tema.

### 2.2- COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA EN EL ENTORNO MARÍTIMO, CONCEPTO Y LEGISLACIÓN

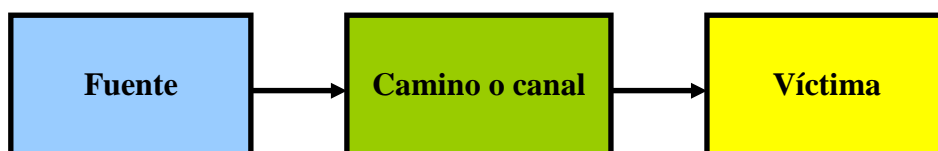
#### 2.2.1- Definición

La compatibilidad electromagnética o EMC (del inglés “electromagnetic compatibility”) se define como la aptitud de un dispositivo, de un aparato o de un sistema para funcionar en su entorno electromagnético de forma satisfactoria, sin verse afectado en su funcionamiento (inmunidad) y sin producir él mismo perturbaciones electromagnéticas intolerables para todo lo que se encuentre en dicho entorno (emisión).

En [PRES 87] la compatibilidad electromagnética se define como la capacidad de los sistemas, subsistemas, equipos y dispositivos electrónicos y eléctricos para funcionar correctamente en su entorno operativo destinado dentro de los niveles de diseño, rendimiento y seguridad sin sufrir o causar una degradación inaceptable debido a la radiación electromagnética no intencionada.

Dentro de las especificaciones de la Comisión Electrotécnica Internacional IEC [PRES87], tres elementos básicos intervienen en un problema de EMC (Figura 2.1):

- Sistema fuente de energía (equipo emisor) cuyo nivel debe estar limitado,
- Canal de acoplamiento o camino electromagnético,
- Sistema receptor (equipo víctima o destino de la interferencia).



**Figura 2.1:** Esquema de referencia de un problema de EMC

La compatibilidad electromagnética pretende estudiar los fenómenos de interacción electromagnética entre varios sistemas o equipos, con el fin de reducir la probabilidad de mal funcionamiento de los mismos a causa de las interferencias electromagnéticas (EMI). Cuando estos equipos funcionen satisfactoriamente sin que alguno de ellos perturbe al resto, se dice que existe compatibilidad electromagnética entre ellos [PRES87].

### **2.2.2- Medidas de implementación EMC**

La ingeniería de gestión de la EMC debe ser implementada en la fase de diseño [MASC 11] cada vez que se quiere integrar un nuevo equipo o bien cuando se diseña un nuevo barco. Un control de la gestión EMC debe continuar durante todo el proyecto, a través de la instalación, o construcción y a través de la vida activa del buque.

Las fases de la planificación EMC [PRES87]

Consisten en:

- Identificación completa del entorno a bordo del buque propio,
- Síntesis de todos emisores y receptores electromagnéticos esperados,
- Predicción de las Interferencias electromagnéticas,
- Potenciales fuentes y víctimas,
- Análisis de las posibles amenazas,
- Seguimiento continuo del Proyecto.

Existen tres posibilidades para eliminar las interferencias serán:

- Suprimir la emisión en la fuente o Aislamiento.
- Hacer el camino de acoplamiento poco efectivo o Desensibilización.
- Hacer el receptor menos sensible a las emisiones o Blindaje..

La mejor solución es la primera aunque no siempre es posible identificar la fuente de la perturbación y algunas veces no es posible eliminarlas ya que son señales activas del sistema, como por ejemplo el reloj de un sistema digital, o bien una fuente de alimentación. En estos casos solo se puede actuar sobre el camino de acoplamiento o haciendo la víctima más inmune.

La inmunidad es la aptitud de un dispositivo, equipo o sistema para funcionar sin degradación de su propia calidad en presencia de una perturbación electromagnética. Cualquier objeto que para su funcionamiento use o detecte energía electromagnética, por ejemplo, radiorreceptores, aparatos domésticos o circuitos electrónicos de cualquier clase pueden verse afectados [SEBA 99].

El estudio de la inmunidad es otra especialidad de la EMC y su propósito es asegurar que el equipo no se vea afectado por emisiones provenientes radiotransmisores, por perturbaciones en los bornes de alimentación, por campos electrostáticos u otros fenómenos. Con el propósito de tener procesos de fabricación rentables y productos finales mejores y más seguros, es recomendable realizar las pruebas de inmunidad desde las etapas de diseño mediante el uso de software para simulación [SEBA 99].

## **2.2.3- Legislación**

### **2.2.3.1- Introducción**

Son muchos los organismos con competencias en el área de EMC. La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), fundada en el año 1906, trabaja dentro del marco de normalización de la Organización Internacional para la Normalización (ISO), organismo dependiente de la Naciones Unidas. El IEC dispone de un comité nacional en cada país miembro, del cual pueden depender también asociaciones profesionales con capacidad para crear normativa a nivel nacional.

El Comité Internacional Especial sobre Perturbaciones Radioeléctricas (CISPR), fue creado en 1934 como un comité especial dentro del IEC ha ido aumentando sus áreas de competencia hasta abarcar la totalidad de los temas involucrados en EMC. En la actualidad es la principal institución en materia de normalización EMC [SEBA 99].

El Comité Europeo de Normalización Electrónica (CENELEC) está constituido por los comités electrotécnicos nacionales de 18 países de Europa occidental, incluyendo los doce países miembros de la UE. Pretende crear un conjunto de normas electrotécnicas armonizadas con el objeto de garantizar una calidad común en Europa que facilite el libre mercado.

Dependientes de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), el Comité Consultivo Internacional de Telégrafos y Teléfonos (CCITT) y el Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones (CCIR) también tienen competencias en el campo de la EMC.

### **2.2.3.2- Normativas de Compatibilidad Electromagnética**

#### **2.2.3.2.a- Directiva 89/336/CEE**

A través de la Directiva Comunitaria 89/336/CEE, adoptada el 1º de enero de 1992, relativa a Compatibilidad Electromagnética (EMC), se pretende proteger a los sistemas de comunicación, dispositivos, o sistemas cuyo funcionamiento pueda verse perjudicado por interferencias electromagnéticas.

El principal objetivo de la Directiva 89/336/CEE es garantizar la libre circulación de aparatos en el Área Económica Europea (EEE) y crear un ambiente EMC aceptable.

El nivel de protección requerido está especificado en la Directiva de EMC mediante objetivos de protección en el campo de la compatibilidad electromagnética. Los principales objetivos son:

- Asegurar que dispositivos, aparatos y sistemas, no puedan interferir con equipos de radio o telecomunicación cuyo funcionamiento pudiera ser afectado (de acuerdo con la definición del artículo 1 de la Directiva de EMC) por perturbaciones electromagnéticas causadas por estos aparatos eléctricos o electrónicos.
- Asegurar que los aparatos tienen un adecuado nivel de inmunidad intrínseca a las perturbaciones electromagnéticas de manera que puedan funcionar de acuerdo con su propósito.

Para lograr estos objetivos, la Directiva de CEM establece requisitos de protección y procedimientos bajo los cuales el fabricante pueda evaluar por sí mismo sus aparatos en relación a esos requisitos o los pueda hacer evaluar por terceras partes. Obviamente el objetivo no es conseguir un nivel de emisión cero, o total inmunidad.

La Directiva 89/336/CEE fue mejorada mediante las Directivas 91/263/CE, 92/31/CE, 93/68/CE y 93/97/CE

#### **2.2.3.2.b- Directiva 95/54/CE**

Adapta al progreso técnico la Directiva 72/245/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados Miembros sobre la supresión de parásitos radioeléctricos producidos por los motores de encendido con los que están equipados los vehículos a motor y por la que se modifica la Directiva 70/156/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados Miembros sobre la homologación de los vehículos a motor y de sus remolques.

#### **2.2.3.2.c- Directiva 2004/108/CE**

La Directiva 2004/108/CE [DOUE 04] es la que se encuentra en vigor en este momento y deroga la anterior 89/336/CE. El 7 de abril de 2005 tuvo lugar en el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio la presentación de la nueva Directiva 2004/108/CE de Compatibilidad Electromagnética (CEM), publicada el 31 de diciembre de 2004 en el Diario Oficial de la Unión Europea, por la que se deroga la actual Directiva CEM 89/336/CEE.

El objetivo de la directiva 2004/108/CE de Compatibilidad Electromagnética CEM es garantizar la libre circulación de equipos eléctricos y, a la vez, crear un entorno electromagnético aceptable dentro de la Unión Europea. Con esta nueva directiva se conseguirá que las perturbaciones electromagnéticas producidas por los equipos eléctricos no afecten al funcionamiento correcto de otros equipos semejantes, incluyendo las redes de telecomunicación y la distribución de energía, así como que los equipos dispongan de un nivel adecuado de inmunidad ante las perturbaciones electromagnéticas para lograr el funcionamiento previsto.

La actual directiva da lugar a la simplificación del procedimiento de evaluación de la conformidad limitándola a un único procedimiento para cada aparato. Se consigue la reducción de las trabas administrativas y el incremento de las opciones para el fabricante con la supresión de la intervención obligatoria de terceras partes cuando no se apliquen normas armonizadas y la autorización a recurrir a organismos de evaluación de la conformidad para aparatos, en todos los casos, de forma voluntaria.

La revisión de esta directiva no modifica los objetivos y ámbitos de aplicación de la anterior directiva CEM, aunque si establece los requisitos de compatibilidad electromagnética de los equipos para la comercialización de los mismos a sus entrada en servicio.

#### **2.2.3.2.d- Directiva 96/98/CE sobre equipos marinos**

La Directiva 96/98/CE [DOUE 97] del Consejo de 20 de diciembre de 1996 es sobre equipos marinos La Unión Europea (UE) adopta normas para garantizar la seguridad y la calidad de los equipos marinos instalados a bordo de los buques. Dichas normas deben contribuir a luchar contra la contaminación marítima y a garantizar la libre circulación de los equipos marinos en el mercado interior.

La presente Directiva se aplica a los equipos (Anexo A) destinados a ser utilizados:

- Embarcados en un buque europeo, incluso si se ha construido fuera de la UE;
- Embarcados en buque europeo existente con el fin de sustituir los equipos o instalar equipos adicionales

Los Estados miembros designan organismos encargados de la evaluación de la conformidad de los equipos marinos. Tal evaluación pretende:

- Garantizar la calidad de los equipos antes de su comercialización;
- comprobar los equipos de los buques, al expedir o renovar los certificados de seguridad.

Los equipos que cumplen con las normas europeas deben llevar un marcado

#### **2.2.3.2.e- Directiva 2013/52/UE sobre equipos marinos**

El 14 de noviembre se publica en el Diario Oficial de la Unión Europea la Directiva 2013/52/UE de la Comisión, de 30 de octubre de 2013 [DOUE 13], por la que se modifica la Directiva 96/98/CE del Consejo sobre equipos marinos.

En el Anexo A.1 se establece una lista de equipos para los que existen normas detalladas de ensayo en los instrumentos internacionales, mientras que en el Anexo A.2 se establece una lista de equipos para los que todavía no existen normas detalladas de ensayo en los instrumentos internacionales. En sendos anexos se recogen equipos marinos para la prevención de la contaminación marina

#### **2.2.3.2.f- Regulación Española sobre compatibilidad**

*- Real Decreto 1580/2006, de 22 de diciembre, por el que se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos. Boletín Oficial del Estado núm. 15, de 17 de enero de 2007, páginas 2311 a 2318.*

Dicho real decreto y su modificación, venían a transponer la Directiva 89/336/CEE, del Consejo, de 3 de mayo de 1989, relativa a la compatibilidad electromagnética, y sus modificaciones posteriores realizadas mediante las Directivas 92/31/CEE, de 28 de abril de 1992 y 93/68/CEE, de 22 de julio de 1993.

En el marco establecido por la Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria y la Ley 32/2003, de 3 de noviembre, General de Telecomunicaciones, así como por el Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y la Seguridad Industrial, esta disposición regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos y trata de asegurar que las radiocomunicaciones, las redes de suministro eléctrico, las redes de telecomunicaciones y los equipos conectados a estas redes estén protegidos contra las perturbaciones electromagnéticas. Para lograr este objetivo, los fabricantes de equipos eléctricos y electrónicos deberán construirlos de forma tal que los demás equipos o las redes no se vean afectados por una degradación inaceptable del servicio cuando se utilicen en condiciones operativas normales y los operadores de redes deberán construirlas de modo que los fabricantes de equipos que puedan conectarse a ellas no se vean expuestos a trabas desproporcionadas para evitar la degradación del servicio en dichas redes, todo ello teniendo en cuenta también los aspectos acumulativos de fenómenos electromagnéticos que puedan originarse.

*- Real Decreto 1185/2006, de 16 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento por el que se regulan las radiocomunicaciones marítimas a bordo de los buques civiles españoles.*

La Conferencia de los Gobiernos contratantes del Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS) de 1974, aprobó el 9 de noviembre de 1988 una serie de enmiendas referentes a las radiocomunicaciones para el Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítimos

(SMSSM) que, entre otras consecuencias, ha supuesto la sustitución del capítulo IV, intitulado «Radiocomunicaciones».

Dichas enmiendas fueron publicadas en el Boletín Oficial del Estado el 19 de mayo de 1990, aunque no alcanzaron plena efectividad hasta el 1 de febrero de 1999.

Por ello, un primer objetivo del reglamento que se aprueba mediante este real decreto consiste en extender la aplicación de las citadas normas, hasta donde resulta posible, a los buques que no contaban hasta ahora con ninguna cobertura legal en materia de radiocomunicaciones.

En lo que afecta a los buques pesqueros de eslora igual o superior a 24 metros, su regulación se encuentra recogida en el Real Decreto 1032/1999, de 18 de junio, que determina las normas de seguridad que deben cumplir dichos buques y que ha incorporado al ordenamiento jurídico español la Directiva 97/70/CE, del Consejo, de 11 de diciembre de 1997, por la que se establece un régimen armonizado de seguridad para los citados buques. El reglamento que ahora se aprueba pretende completar y precisar, para este tipo de buques, las prescripciones en materia de radiocomunicaciones marítimas recogidas en la normativa reguladora.

Este reglamento, finalmente, pretende acabar con la dispersión y heterogeneidad existente en la regulación de las radiocomunicaciones marítimas en España, proporcionando un soporte normativo adecuado y suficiente, que comporte la sustitución de normas que han quedado obsoletas, como son la Orden de 10 de agosto de 1957, por la que se aprueba el texto refundido de las normas reguladoras de la Inspección radiomarítima y la Orden de 10 de junio de 1975, sobre regulación del uso de frecuencias y clases de emisión por las instalaciones de radio en los buques.

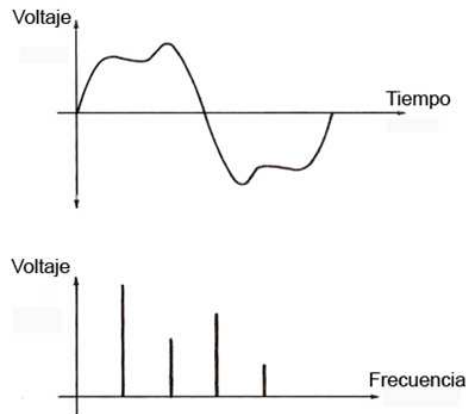
Este real decreto se dicta al amparo de las competencias que el artículo 149.1.20.<sup>ª</sup> de la Constitución atribuye al Estado en el ámbito de la marina mercante, cuyo contenido ha quedado definido en el artículo 6 de la Ley 27/1992, de 24 de noviembre, de Puertos del Estado y la Marina Mercante, entre los que incluye, en los párrafos c) y d) del apartado primero, la seguridad de la navegación, de la vida humana en el mar y la seguridad marítima. A su vez, el artículo 86 de la Ley 27/1992 atribuye al Ministerio de Fomento la facultad para regular dicha materia, así como la ordenación y control de las inspecciones y controles técnicos y radioeléctricos de los buques civiles españoles.

## **2.2.4- Análisis Espectral**

### **2.2.4.1- Introducción**

Hay dos maneras generales de analizar una señal: Análisis temporal (dominio del tiempo) y análisis frecuencial o espectral (dominio de la frecuencia).

El analizador de espectro caracteriza una señal en el dominio de frecuencia del mismo modo que un osciloscopio caracteriza una señal en el dominio de [WITT93]:



**Figura 2.2:** Gráfica representación de una señal en el dominio de tiempo y de frecuencia  
Ilustración cedida por cortesía de [WITT93]

La gráfica de una señal en el dominio de tiempo es simplemente la representación del voltaje (puede ser corriente) instantáneo en función del tiempo.

En el dominio de frecuencia, el eje vertical es también voltaje, pero el eje horizontal es ahora frecuencia. Se trata de hablar de dos maneras de ver una misma señal. En el dominio de frecuencia, la señal tiene varios componentes de frecuencia (líneas espectrales) que indican la cantidad de energía que hay en cada frecuencia.

#### 2.2.4.2- Serie de Fourier

Existen dos formas de representar señales por medio de ondas sinusoidales [PAPO77]:

- En el caso de señales que se repiten periódicamente, se utiliza la serie de Fourier
- En el caso de una señal que nunca se repiten en el tiempo, se utiliza la transformada de Fourier.

Una función  $f(t)$  en el intervalo de  $t=-T/2$  a  $T/2$ , puede representarse por la serie de Fourier

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} C_n e^{j2\pi(n/T)t} \quad (2.1)$$

Donde  $n$  es un número entero.

El coeficiente  $C_n$  puede calcularse mediante la expresión

$$C_n = \left( \frac{1}{T} \right) \int_{-T/2}^{T/2} f(t) e^{-j2\pi(n/T)t} dt \quad (2.2)$$



La serie de Fourier es periódica, es decir, se repite cada T segundos. Cuando  $f(t)$  no es periódica, la representación de la serie de Fourier no resulta correcta para  $t$  menor que  $-T/2$  o mayor que  $T/2$ . Si  $f(t)$  es periódica, de periodo T, entonces la representación mediante la serie de Fourier resulta válida para todo instante [PAPO77].

### 2.2.4.3- Transformada de Fourier

El dominio de tiempo y de frecuencia son dos maneras de representación de una señal.

La transformada de Fourier es la relación matemática entre estas dos representaciones.

Si una señal está modificada en un dominio, estará también variada en el otro, aunque en la mayoría de casos no de la misma manera [PAPO77].

La transformada de Fourier se emplea con señales aperiódicas a diferencia de la serie de Fourier. Las condiciones para poder obtener la transformada de Fourier son Condiciones de Dirichlet [PAPO77].

- Que la señal sea absolutamente integrable, es decir:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt < \infty \quad (2.3)$$

- Que tenga un grado de oscilación finito.
- Que tenga un número máximo de discontinuidades.

La transformada de Fourier se define como:

$$X(w) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt \quad (2.4)$$

Y su antitransformada se define como:

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(w)e^{j\omega t} dw \quad (2.5)$$

### 2.2.4.6- Anchura de Banda

El conjunto total de señales necesarias para la transmisión de una información se denomina espectro de emisión, definiendo la Unión Internacional de Telecomunicaciones la anchura de banda ocupada a la anchura de banda de frecuencias que por debajo y por encima de sus frecuencias límite se emiten potencias medias no superiores al 0.5 % de la potencia media total de la emisión.

Se denomina banda de frecuencias asignada a aquella cuyo centro coincide con la frecuencia asignada a la Estación y cuyo ancho es igual al ancho de banda necesario más el doble del valor absoluto de la tolerancia en frecuencia [RUIT12].

Se denomina anchura o ancho de banda, necesaria, para una emisión dada, al ancho de banda suficiente para asegurar la transmisión de la información a la velocidad de transmisión y la calidad requerida en condiciones especificadas [RUIT12].

Por consiguiente el ancho de banda ocupado perfecto debe coincidir con el ancho de banda necesario para la clase de emisión correspondiente.

#### **2.2.4.7- Banda Estrecha**

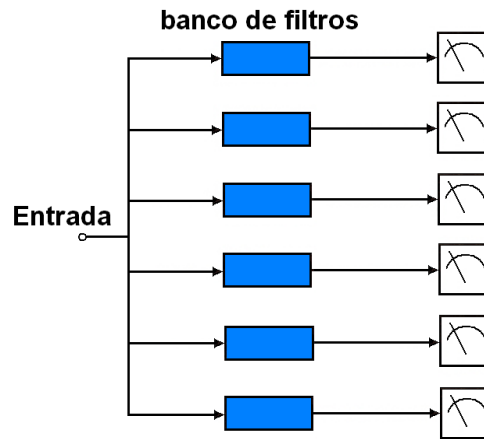
Aunque la UIT define, en modulación angular, la Banda Estrecha y la Banda Ancha al hecho de utilizar un índice de modulación menor que 1 o mayor que 3, respectivamente, en esta Tesis Doctoral, denominaremos Banda Estrecha a la medición que se ajusta a la anchura de banda de la interferencia o emisión estudiada y que excluye el ruido ajeno a ellas, encontrándose dentro de los parámetros técnicos del receptor utilizado en cada momento, en nuestro caso el Icom IC-PCR1000.

#### **2.2.4.8- Analizadores de espectros**

A continuación se hace una clasificación de los tipos tradicionales.

##### **2.2.4.8.a- Analizador de espectro mediante un banco de filtros**

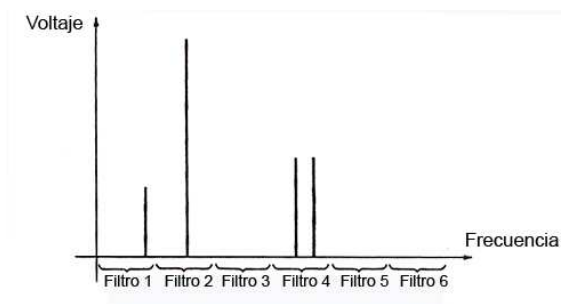
Una posible implementación del analizador de espectro [WITT93] es mediante el uso de un gran número de filtros paso-banda, cada uno sintonizado a una frecuencia diferente. Cada filtro elimina todas las componentes de frecuencia de la señal excepto la frecuencia particular del filtro al que está destinado para medir. En la salida de cada filtro se encuentra una señal cuya amplitud corresponde a la cantidad de energía contenida dentro del ancho de banda del filtro. La salida de cada uno de estos filtros puede ser detectada y representada en una pantalla.



**Figura 2.3:** Gráfica Analizador de espectro mediante un banco de filtros  
Ilustración cedida por cortesía de [WITT93]

La resolución en frecuencia de un analizador de espectro mediante banco de filtros está determinada por el ancho de banda de cada filtro, por lo tanto la Figura 2.4 muestra que ambos los filtros 1 y 2 detectan cada uno una única línea espectral. La frecuencia de cada de estas líneas es conocida mediante el rango de frecuencia de su propio filtro.

En el caso del filtro 4, se presenta una situación de pérdida de información; las dos líneas espectrales se muestran mediante el mismo rango de frecuencia del filtro. Estas dos líneas espectrales no se detectan como dos componentes de frecuencia distintas, sino en este caso el filtro mide la cantidad de energía presentada mediante su rango de frecuencia sin tener en cuenta cuántas líneas espectrales produce esta energía [WITT93].



**Figura 2.4:** Gráfica representadora del espectro de un analizador de espectros mediante un banco de filtros  
Ilustración cedida por cortesía de [WITT93]

Esta técnica tiene la ventaja de medir el espectro completo en tiempo real, pero es una solución de muy alto coste, presenta un efecto de carga, y resolución limitada por el número de filtros.

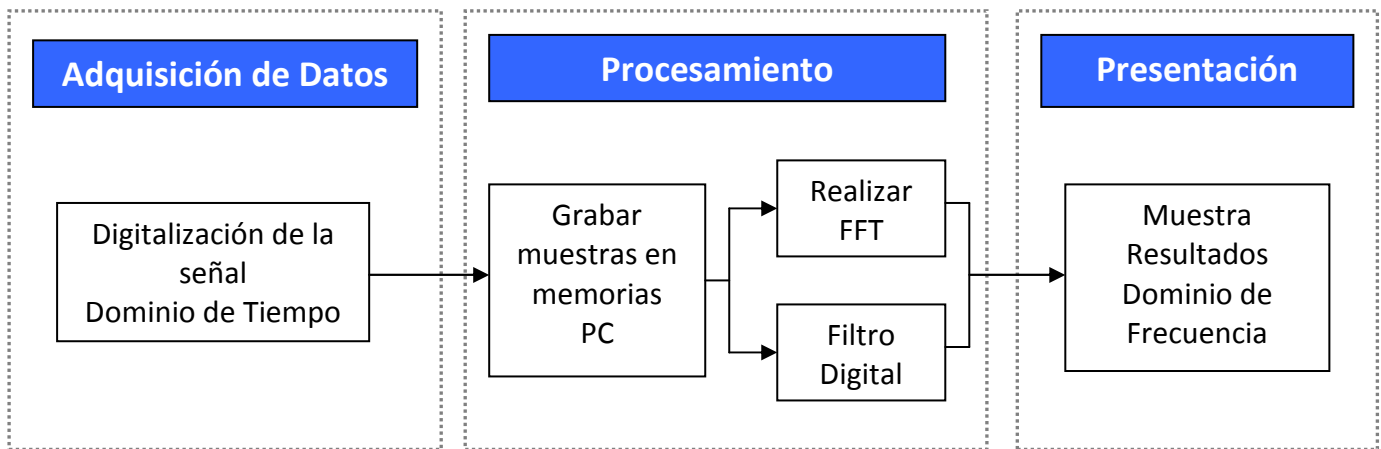
Las ventajas de medir en banda estrecha es la posibilidad de detectar con precisión la señal fuente y origen de la interferencia.

#### 2.2.4.8.b- Analizador de espectros FFT

El analizador de espectros FFT o bien analizador de Fourier, determina matemáticamente el espectro de la señal, mediante procesamiento del algoritmo FFT.

El analizador FFT realiza las siguientes operaciones:

- Digitalizar la señal del dominio del tiempo
- Utilizar técnicas de procesamiento de señal digital (DSP) para realizar la FFT de la señal
- Visualizar la señal en el dominio de frecuencia



**Figura 2.5:** Diagrama de bloque de un analizador de espectros FFT

El analizador de espectro FFT tiene la ventaja de realizar mediciones de amplitud y fase, pero presentan los siguientes inconvenientes [WITT93]:

- No se realizan mediciones en tiempo real, dado que necesita utilizar un cierto espacio de tiempo para realizar los cálculos.
- El analizador de espectro FFT presenta limitaciones en el rango de la frecuencia, sensibilidad y rango dinámico.
- Presentan Aliasing.

#### **2.2.4.8.c- Analizador de espectros de Barrido**

En este tipo de analizador, en vez de utilizar muchos filtros con frecuencias distintas, se utiliza un único filtro cuya frecuencia central se sintoniza.

Se realiza un barrido de frecuencia central del filtro, que permite obtener la señal a la salida (el espectro) cuando los componentes frecuenciales de la señal de entrada estén dentro de la anchura de banda seleccionada del filtro [WITT93].

Este tipo de analizador permite realizar medidas del espectro completo tras el barrido, pero el gran inconveniente que se presenta es la complejidad de realizar un filtro sintonizable que en ningún momento puede ser perfecto.

#### **2.2.4.8.d- Analizador Super-heterodino**

La idea de realizar este analizador de espectro viene inspirada de la técnica del analizador de espectro de barrido. El analizador de espectro super-heterodino trae la siguiente implementación: Si la realización de un filtro sintonizable es muy compleja, se puede utilizar un filtro único, pero en vez de barrer la frecuencia del filtro de sintonía, se puede barrer la señal de frecuencia intermedia. De este modo, este tipo de analizador de espectro, va tener la ventaja de medición del espectro completo tras el barrido, utilizando un filtro sintonizable fijo que es más sencillo de realizar.

Simplificando mucho, este tipo de analizador podríamos decir que se trata de un receptor de radio que dispone un analizador de espectros que analiza el ancho de banda total del filtro de Frecuencia Intermedia, con lo que si se varía la frecuencia del filtro de entrada de Radiofrecuencia y la frecuencia del Oscilador Local en la misma medida, siempre dispondremos de la misma Frecuencia Intermedia aunque la Radiofrecuencia sintonizada sea otra que se encuentre fuera del filtro sintonizado de Frecuencia Intermedia.

El único inconveniente de este método es que el análisis del espectro tras el barrido, no es simultáneo, y por lo tanto no se trata de tiempo real.

Este tipo de analizador de espectros es el que se pretende utilizar en esta Tesis Doctoral con el ICOM IC-PCR1000, que utiliza distintas Frecuencias Intermedias hasta llegar a la demodulación y a la etapa de audiofrecuencias, que será donde barra la tarjeta de sonido el analizador de espectros software desarrollado.

### **2.2.5- Receptores de Radio**

#### **2.2.5.1- Introducción**

Un receptor es un conjunto de componentes y circuitos electrónicos que aceptan el mensaje transmitido en el canal y lo convierte en una forma inteligible para los humanos o los computadoras.

Los receptores contienen amplificadores, osciladores, mezcladores, circuitos sintonizados y filtros, y un demodulador o detector que recupera la señal de inteligencia original, de la portadora modulada.

Todos los circuitos físicos utilizados en el procesamiento de las señales implican ganancia o atenuación, denominándose activos o pasivos respectivamente.

### 2.2.5.2- Ganancia

Ganancia significa amplificación. Si se aplica una señal a un circuito como al del amplificador y la salida del circuito tiene una amplitud mayor que la de las señales de entrada, el circuito tiene ganancia. Ésta es sólo la relación entre la salida y la entrada. Para voltajes de entrada ( $V_{ent}$ ) y de la salida ( $V_{sal}$ ) la ganancia en voltaje,  $A_v$ , se expresa como sigue:

$$A_v = \text{Salida/Entrada} = V_{sal}/V_{ent} \quad (2.6)$$

### 2.2.5.3- Atenuación

Muchos circuitos electrónicos reducen la amplitud de una señal en vez de amplificarla. Si la señal de salida es menor en amplitud, el circuito tiene pérdida o atenuación. Como la ganancia, la atenuación es sólo el cociente de la salida respecto a la entrada. La letra A se emplea para representar tanto la atenuación como la ganancia. En este caso la atenuación se puede comparar con una ganancia menor que la unidad.

### 2.2.5.4- Decibelios

La ganancia o pérdida de un circuito se suele expresar en decibelios, una unidad de medida que en un principio se creó como la forma de expresar la respuesta del oído humano a las variaciones de nivel de los sonidos. Recibe su nombre por Alexander Graham Bell, inventor del teléfono alámbrico. Un decibelio es la décima parte de un Belio.

Cuando la ganancia y la atenuación se convierten en decibelios, la ganancia o atenuación total de un circuito electrónico se puede calcular como la simple suma de estas ganancias o atenuaciones, expresadas en decibelios.

En los circuitos y sistemas electrónicos es común encontrar ganancias o atenuaciones muy altas, algunas veces mayores que un millón. Al convertir estos factores en decibeles y usando logaritmos se obtienen cifras menores de ganancia y atenuación que permiten una representación en gráfica mejor.

### 2.2.5.5- Cálculo de decibelios

$$\text{dBV} = 20 \log \frac{V_{sal}}{V_{ent}} \quad (2.7)$$

$$dBI = 20 \log \frac{I_{sal}}{I_{ent}} \quad (2.8)$$

$$dBW = 10 \log \frac{P_{sal}}{P_{ent}} \quad (2.9)$$

La fórmula (2.7) se utiliza para expresar la ganancia o atenuación en voltaje de un circuito; la fórmula (2.8) para ganancia o atenuación en corriente.

La fórmula (2.9) se utiliza para calcular la ganancia o atenuación en potencia.

Una ganancia en decibelios que tenga signo negativo significa que es una pérdida.





## CAPITULO 3: INSTRUMENTAL

### 3.1- INTRODUCCIÓN

En este capítulo describiremos las características de los equipos que hemos utilizado para la realización de esta Tesis Doctoral, si bien las mediciones de la misma son en Banda Estrecha, también es necesario explicar, someramente, el uso de los medidores de Banda Ancha en los laboratorios de compatibilidad electromagnética marítimos.

### 3.2- RECEPTOR ICOM IC-PCR1000

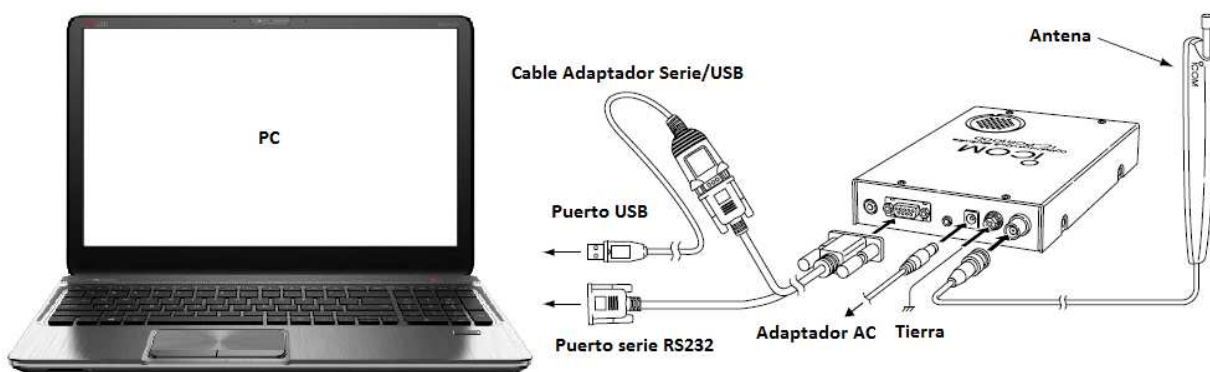
#### 3.2.1- Introducción

El IC-PCR1000 es un receptor de banda ancha que cubre las frecuencias de recepción entre 10 kHz y 1300 MHz en varias clases de emisión (WFM, FM, AM, CW, LSB, y USB).

Este receptor va a ser nuestro principal interfaz con las radiofrecuencias. Utilizaremos su salida de audio para tener una Frecuencia Intermedia en la que realizar el análisis espectral, por lo que como mucho tendremos un ancho de banda de 20 kHz.



**Figura 3.1:** Receptor ICOM IC-PCR1000 con su alimentador exterior.  
Ilustración cedida por cortesía de ICOMSpain



**Figura 3.2:** Diagrama de conexiones del Receptor ICOM IC-PCR1000.  
Ilustración cedida por cortesía de ICOMSpain

### 3.2.2- Especificaciones

- El IC-PCR1000 cubre un amplio margen de frecuencias, desde 0.01 a 1300 MHz, con la capacidad de recepción en las clases de emisión WFM, FM, AM, CW, LSB, y USB.
- Ilimitado número de canales de memoria: Los canales de memoria se agrupan en bancos de 50 canales cada uno y se almacenan en el disco duro del ordenador: el número de memorias sólo está limitado por el espacio que tenga el disco duro.
- Función desplazamiento de la Frecuencia Intermedia (IF shift): La función *IF shift* es efectiva en los modos SSB/CW para reducir las interferencias de señales cercanas
- Limitador de ruidos: Sólo es efectiva esta función en los modos SSB, AM y CW
- Función Digital AFC: La función AFC (Auto Frequency Control) compensa automáticamente para la frecuencia derivada, sólo en modo FM
- Función VSC: La función VSC (Voice Scanning Control) original de ICOM para el rastreo sólo cuando se han recibido señales moduladas
- Silenciador *S-meter*: Además de un sistema de silenciador de ruidos normal, el IC-PCR1000 ofrece un silenciador S-meter que permite desactivar la etapa de audio siempre y cuando la señal modulada recibida no supere el nivel de referencia fijado en el medidor de Señal.

### 3.2.3- Funciones generales

#### 3.2.3.1- Modos de Recepción

Aunque se les denomine Modos de Recepción, ya que es un receptor, el Reglamento de Radiocomunicaciones [RUIT12] les denomina Clases de Emisión. Hemos de indicar que las Siglas SSB corresponden a Banda Lateral Única con Portadora Suprimida, J3E, pero no indican si es la Banda Lateral Superior o la Inferior, por lo que se debe acudir al reglamento pertinente para resolver la duda, si bien USB especifica que es la Superior (Upper Side Band) y LSB la Inferior (Lower Side Band)

Modo RX	Descripción	Clase de Emisión Compatible
AM	Modulación Amplitud Doble Banda Lateral	6K00A3EJN
USB	Banda Lateral Única Superior con Portadora Suprimida Fonía Analógica	2K70J3EJN
LSB	Banda Lateral Única Inferior con Portadora Suprimida Fonía Analógica	2K70J3EJN
CW	Telegrafía por Interrupción de Portadora	1K00A1AAN ó 1K00J2AAN
FM	Modulación en Frecuencia calidad Comercial	15K0F3EJN ó 15K0G3EJN
WFM	Modulación en Frecuencia calidad radiodifusión estéreo.	150KF3EGN ó 150HG3EGN

**Tabla 3.1:** Modos de recepción del receptor IC-PCR1000 y clases de emisión compatible

### 3.2.3.2- Características Técnicas

Alimentación: 13.8 VDC +/-15% (700 mA máximo)

Interfaces:

Conector BNC (50 ohmios) para antena

DB-9F para comunicaciones RS232

6 mm coaxial para alimentación

Audio: Altavoz interno

Entrada 3.5 mm jack 200 mW

Frecuencias Intermedias (IF)

1ª IF 266.7 MHz

2ª IF 10.7 MHz

3ª IF 450 kHz (no se usa para WFM)

Selectividad (-6dB): 2.8/6/15/50/230 kHz

Sensibilidad: (modos SSB y CW, 10 dB S/N, filtro 2.8 kHz)

0.56 µV debajo de 1.8 MHz

0.28 µV en 1.8 MHz – 30 MHz

0.2 µV en 50-700 MHz

Sensibilidad (modo AM, 10 dB S/N, filtro 6kHz)

2.5 µV por debajo de 1.8 MHz

1.4 µV en 1.8 MHz – 30 MHz

1.0-1.8 µV encima de 30 MHz

Sensibilidad (modo FM, 12 dB SINAD, filtro 15 kHz)

0.5 µV 28-50 MHz

0.32 µV 50-700 MHz

0.4 µV encima de 700 MHz

Sensibilidad (modo WFM, 12 dB SINAD, filtro 230 kHz)

0.79 µV 50-700 MHz

1.0 µV encima de 700 MHz

Atenuador de Radiofrecuencia

Medidor de señal integrado

Numerosas funciones de barrido secuencial

Decodificador CTCSS

Receptor de datos disponible (9600 Bauds)

Control de volumen desde el ordenador

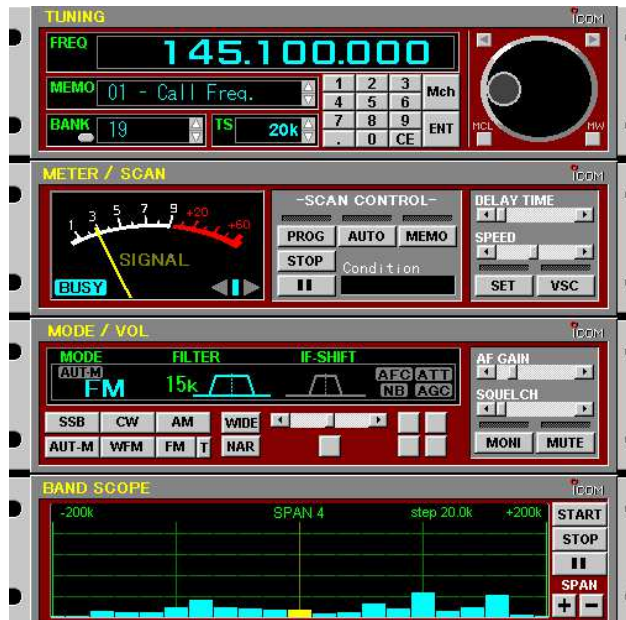
Temperatura de trabajo: 0°C hasta +50°C

Dimensión: 127.5 x 30 x 199 mm

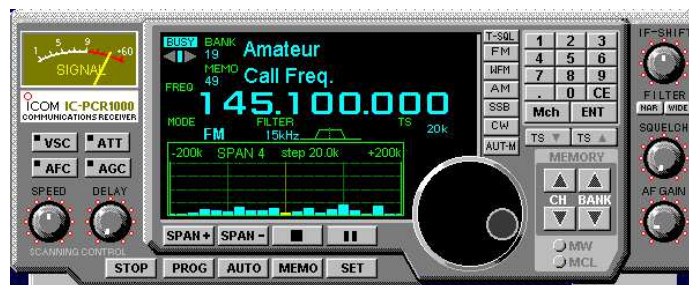
Peso: 1 Kg

### 3.2.4- Interfaces comerciales

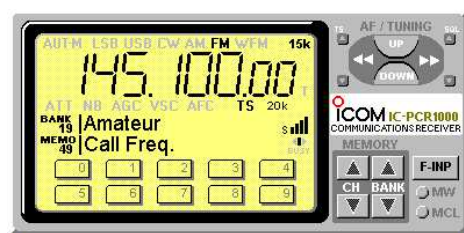
Existen interfaces comerciales gratuitos que permiten el control del ICOM IC-PCR1000 y que están incluidos en los programas de control del mismo.



**Figura 3.3:** Interfaz del IC-PCR100 tipo cadena musical  
Ilustración cedida por cortesía de ICOMSpain



**Figura 3.4:** Interfaz del IC-PCR100 tipo receptor de aficionado  
Ilustración cedida por cortesía de ICOMSpain



**Figura 3.5:** Interfaz del IC-PCR100 tipo receptor moderno  
Ilustración cedida por cortesía de ICOMSpain

Si nos fijamos en las figuras 3.3 y 3.4 podremos ver un pequeño analizador de espectros software. Este dispositivo, que no existe en la figura 3.5, permite la detección visual de una señal o una interferencia en un ancho de banda de 200 kHz, que es un poco superior a la anchura de banda necesaria para recibir correctamente las emisiones de radiodifusión en la banda de 87 a 108.5 MHz. Aunque su resolución en anchura de banda deja bastante que desear, desde el punto de EMC, si es una poderosa herramienta de ayuda a la sintonía para el operador cuando quiere utilizar el PC para análisis de interferencias o de señales.

### **3.3- INSTRUMENTAL DE BANDA ANCHA**

#### **3.3.1- Introducción**

Se denominan de banda ancha porque se van a acumular los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos de, no sólo la señal o interferencia a medir, sino también del resto de señales que le lleguen y que estén dentro de su rango de medición.

La utilización de equipos de banda ancha está justificada cuando se quiere detectar una emisión o una fuente de ruido sin importar la forma o frecuencia que ésta tenga.

Estos equipos son muy útiles para la medida de las emisiones de los repetidores de telefonía móvil en campo lejano o de las antenas de los buques en campo cercano. Además permiten la detección de fugas de radiación cuando se les acerca a sus fuentes de radiación.

El equipo PMM 8053 constituye un sistema de medida ampliable para medidas de campos eléctrico y magnético relacionados con la contaminación electromagnética.

El sistema está compuesto por un amplio abanico de sondas de campo eléctrico y magnético, y una unidad de medida portátil equipada con una gran pantalla LCD, 4 teclas funcionales de fácil manejo (que permiten seleccionar diferentes funciones dependiendo del menú en el que se encuentre), baterías internas recargables y una interfaz de conexión RS232/485 o por fibra óptica.

También está disponible una gran gama de accesorios diseñados para suplir las necesidades de cada aplicación para la medición en campo cercano y campo lejano y en algunos casos con posibilidad de realización de análisis espectral.

Captura desde una muestra por segundo a una muestra cada 24 horas, pudiendo programarse para hacer promedios y distintas medidas según las leyes de la UE. Podemos realizar medidas tanto en banda ancha (5Hz - 100 kHz, 100 kHz-3GHz y 1 MHz-40 GHz)

El equipamiento de banda ancha calibrado actualmente disponible en el grupo S2CN consta de:

- Medidor de Campos Electromagnéticos en Banda Ancha PMM 8053A con sondas para: Campos E y H de 5 hasta 100 kHz,
- Campo E de 100 kHz a 3 GHz,
- Campo E de 1 MHz a 40 GHz y

- Campo H de 100 kHz a 30 MHz.
- Repetidor óptico,
- Calibrador y
- Dos líneas de 20 metros de fibra óptica.

La firma PMM ha sido adquirida, en 2010, por Narda (su competencia) y ha cesado la producción de este modelo de medidor y de sus sondas.



**Figura 3.6:** Medidor PMM8053A sobre trípode y en su bolsa de transporte.  
Ilustración cedida por cortesía de PMM



**Figura 3.7:** Sonda Campo H 100 kHz-30 MHz  
Ilustración cedida por cortesía de S2CN-UCA



**Figura 3.8:** Sonda Campo E 100 kHz – 3 GHz  
Ilustración cedida por cortesía de S2CN-UCA



**Figura 3.9:** Sonda Campo E 1MHz – 40 GHz  
Ilustración cedida por cortesía de S2CN-UCA



**Figura 3.10:** Medidor campos E/H PMM 8053A conectado a la alimentación para cargar baterías  
Ilustración cedida por cortesía de S2CN-UCA



**Figura 3.11:** Calibrador del Medidor 8053-CA  
Ilustración cedida por cortesía de S2CN-UCA

## 3.4- INSTRUMENTAL DE BANDA ESTRECHA

### 3.3.1- Introducción

El instrumental que se utiliza para las medidas en banda estrecha son aquellos instrumentos que permiten la visualización e identificación de las emisiones e interferencias aunque se encuentren agrupadas dentro del ancho de banda de trabajo del medidor.

Este es el caso del Analizador de Espectros, que aunque tenga una anchura de banda de trabajo de varios Gigahercios, permite la visualización de señales de radiofrecuencia de menos de 10 kHz en su pantalla y mediante una antena directiva se puede localizar la fuente de emisión y si además está calibrada la antena se puede caracterizar la emisión recibida sin que interfieran las emisoras cercanas.

Como productores de señales controladas se han utilizado tanto un generador de laboratorio como un radioteléfono portátil de VHF-UHF. Como productores de señales no controladas se han utilizado emisoras de radiodifusión y aficionados y equipos eléctricos y electrónicos generadores de ruido, como el sistema PLC de transmisión de datos digitales a través de los "cables de la luz".

### **3.3.2- Analizador de Espectros Rohde & Schwarz (R&S) FSH3 (100 kHz a 3 GHz) con antena portátil HE200 desde 100 kHz a 3 GHz**

El R&S FSH3 es un analizador de espectros altamente manejable, robusto y de fácil transporte para medidas de señales, por lo que se ha utilizado principalmente para determinar y localizar emisiones en el campo o en el laboratorio cuando sea necesario el análisis en banda estrecha.

Sus características son:

- Gran número de funciones de medida permiten al R&S FSH3 manejar cualquier instalación o mantenimiento de estaciones base de telefonía móvil.
- Las teclas de función y una estructura de menús simple, hacen al FSH3 un analizador de muy fácil manejo.
- Las mejores características en RF y la más alta precisión de medida en esta clase de analizadores de espectros.
- 4 horas de funcionamiento continuo con batería.
- Transferencia de datos al PC rápida y sencilla.
- Excelente relación Calidad/Precio.
- Rango de frecuencias de 100 KHz a 30 GHz.
- Resolución del ancho de banda de 1 KHz a 1 MHz.
- Dimensiones: 170 mm x 120 mm x 270 mm.
- Peso: 2.5 Kg.

El analizador Rohde & Schwarz FSH3 tiene todas las posibilidades de aplicación de un analizador de espectros convencional, añadiendo la gran ventaja de su fácil portabilidad debido a su pequeño tamaño y peso. Algunas de las aplicaciones prácticas más comunes de este equipo son las siguientes:

- Medidas de Potencia de Canal.
- Medidas en cables.
- Medidas de Potencia TDMA.
- Medidas de Potencia.
- Análisis Escalar de Redes





**Figura 3.12:** Analizador de Espectros FSH3  
Ilustración cedida por cortesía de S2CN-UCA



**Figura 3.13:** Módulo Antena 20 -200MHz  
Ilustración cedida por cortesía de S2CN-UCA



**Figura 3.14:** Antena HE200 con Módulo 200 -500 MHz  
Ilustración cedida por cortesía de S2CN-UCA

La antena Rhode & Schwarz HE 200 es el complemento ideal para salir al campo o entrar en el buque buscando interferencias. Su rango de trabajo es de 100 KHz a 3 GHz, disponiendo de un amplificador activo en su empuñadura, alimentado por baterías. Dispone de antenas intercambiables con los rangos de frecuencia siguientes: 100KHz-20 MHz, 20 MHz – 200 MHz, 200 MHz - 500 MHz y 500 MHz – 3GHz,

mientras las tres primeras son antenas de cuadro, la última es logaritmo periódico. Todas presentan una impedancia de 50 ohmios y se entregan calibradas.

### 3.3.3- Analizador de Espectro R&S FSL3

El Analizador de espectros Rhode & Schwarz FSL3 es la versión de laboratorio del FSH3, dispone de sus mismas características técnicas, excepto porque trabaja en sistema operativo Windows NT y tiene puertos USB para la conexión de teclados, impresoras o dispositivos de almacenamiento de datos.



**Figura 3.15:** Analizador de Espectros R&S FSH3  
Ilustración cedida por cortesía de S2CN-UCA

### 3.4- Generador de señales PCE-SDG1010

El generador de funciones PCE-SDG10 genera señales hasta 10 MHz. El generador de funciones puede emitir 5 formas de onda. A parte de estas 5 formas de onda estándar, el generador de funciones puede emitir ondas propias (función arbitraria).

Además de la emisión de ondas, el generador de funciones puede medir frecuencias hasta 200 MHz.

Mediante el software incluido en el envío, el usuario puede crear formas de onda propias con el generador de funciones.

El generador de funciones PCE-SDG1010 tiene una cuota de medición de 125 muestras/segundo.

La resolución vertical es de 14 bit.

En la pantalla de 3,5" del generador de funciones, todos los parámetros se pueden leer cómodamente, y ser ajustados mediante la consola de mando.

Aplicaciones del generador de funciones PCE-SDG1010 son la simulación de sensores analógicos o de señales patrón. Esto convierte el generador de funciones en una herramienta de apoyo en el diseño de circuitos eléctricos, la comprobación de componentes o en el sector de investigación y desarrollo.

### Ficha técnica generador de funciones PCE-SDG110

<b>Modelo</b>	<b>PCE-SDG1010</b>
Ancho de banda	10 MHz
Formas de onda	Seno, rectángulo, rampa, de impulsos, fallo, función arbitraria
Modulación	AM, DSB-AM, FM, PM, FSK, ASK, PWM, Sweep, Burst
Canales	2
Velocidad de medición	125 muestras / s
Longitud de onda arbitraria	16 kpts
Resolución frecuencia	1 $\mu$ Hz
Resolución vertical	14 bits
Contador de frecuencia	0,1 Hz ... 200 MHz

### Especificaciones salida generador de funciones PCE-SDG1010

	<b>Canal 1</b>	<b>Canal 2</b>
Amplitud (en función de la frecuencia)	2 mVpp ... 10Vpp	2 mVpp ... 6Vpp
Precisión vertical (a 100 kHz)	$\pm$ (0,3 dB + 1 mV del valor ajustado)	

### Datos técnicos generales generador de funciones PCE-SDG1010

Pantalla	3,5 " TFT LCD
Resolución	320 x 240
Alimentación	100 V ... 240 V / 45 Hz ... 65 Hz
Potencia absorbida	30 W
Dimensiones	229 x 105 x 281 mm
Peso	2,6 kg



**Figura 3.16:** Generador de señales PCE-SDG1010



**Figura 3.17:** Generador de señales PCE-SDG1010 con el receptor IC-PCR1000 y resto de componentes utilizados en la Tesis

## 3.5- RADIOTELÉFONO PORTÁTIL BAOFENG UV-5R

### 3.5.1- Introducción

El radioteléfono portátil Baofeng UV-5R es un radioteléfono que transmite y recibe en las bandas de VHF y UHF desde 136 MHz hasta 480 MHz en las clases de emisión 12K5F3EJN y 16K0F3EJN correspondientes a las denominaciones de banda estrecha y banda ancha en su manual de usuario.

Se ha mostrado muy eficaz en los ensayos controlados en dichas bandas cuando se han realizado emisiones de ensayos con voz humana natural y con los subtonos analógicos (CCTS) o digitales (DCS).

### 3.5.2- Características operativas

- Transceptor portátil de doble-banda con menú de funciones de visualización en la pantalla "LCD"
- Con codificación DTMF
- Batería de Ión- Litio de alta capacidad
- Receptor de radio comercial en FM (65 MHz - 108 MHz)
- Incorpora 105 códigos "DCS" y 50 códigos de privacidad «CTCSS» programables
- Función «VOX» (transmisión activada por voz)
- Función de alarma
- Hasta 128 canales en memoria
- Posibilidad de seleccionar Banda Ancha (Wide) o Estrecha (Narrow)

- Posibilidad de seleccionar alta potencia o baja potencia de transmisión (5W/ 1W)
- Iluminación de la pantalla y teclado programable
- Función pitido “beep” en el teclado
- Escucha dual/ recepción dual
- Posibilidad de seleccionar los pasos de frecuencia de 2.5/5/6.25/10/12.5/25 kHz
- Función "OFFSET" (desplazamiento de la frecuencia de acceso del repetidor)
- Función de ahorro de batería “SAVE”
- Tiempo de transmisión “TOT” programable
- Selección de Modo Escáner
- Función de bloqueo de canal ocupado “BCLO”
- Escáner de recepción CTCSS/ DCS integrado
- Luz flash tipo LED integrada
- Programable por PC
- Nivel del Umbral "Silenciador" ajustable desde 0 a 9
- Operación en bandas cruzadas “Crossband”
- Tono de fin de transmisión
- Tecla de bloqueo integrada

### 3.5.3- Subtonos analógicos y digitales

La función de los subtonos analógicos y digitales es “abrir” el altavoz de los receptores que estén configurados con el mismo número de código que el transmisor, de forma que se evita el ruido en una guardia de escucha.

Se suelen utilizar en redes de comunicaciones que dispongan de mallas independientes en la misma frecuencia con el fin de federar las comunicaciones.

No.	Freq. (Hz)	No.	Freq. (Hz)	No.	Freq. (Hz)	No.	Freq. (Hz)
01	67.0	12	97.4	23	141.3	34	206.5
02	69.3	13	100.0	24	146.2	35	210.7
03	71.9	14	103.5	25	151.4	36	218.1
04	74.4	15	107.2	26	156.7	37	225.7
05	77.0	16	110.9	27	162.2	38	229.1
06	79.7	17	114.8	28	167.9	39	233.6
07	82.5	18	118.8	29	173.8	40	241.8
08	85.4	19	123.0	30	179.9	41	250.3
09	88.5	20	127.3	31	186.2	42	254.1
10	91.5	21	131.8	32	192.8		
11	94.8	22	136.5	33	203.5		

**Tabla 3.2:** Tabla internacional de códigos CCTS

023	065	132	205	255	331	413	465	612	731
025	071	134	212	261	332	423	466	624	732
026	072	143	223	263	343	431	503	627	734
031	073	145	225	265	346	432	506	631	743
032	074	152	226	266	351	445	516	632	754
036	114	155	243	271	356	446	523	654	
043	115	156	244	274	364	452	526	662	
047	116	162	245	306	365	454	532	664	
051	122	165	246	311	371	455	546	703	
053	125	172	251	315	411	462	565	712	
054	131	174	252	325	412	464	606	723	

**Tabla 3.3:** Tabla internacional de códigos DCS

## ESPECIFICACIONES TECNICAS:

### Generales:

- Rango de frecuencias: 65 MHz – 108 MHz (Exclusivamente recepción de emisoras de radiodifusión)
- VHF: 136 MHz – 174 MHz (Rx/ Tx). UHF: 400 MHz – 480 MHz (Rx/ Tx)
- Memoria de canales: Hasta 128 canales
- Estabilidad de frecuencia: 2.5 ppm
- Pasos de frecuencia: 2.5/ 5 / 6.25/ 10/ 12.5/ 25 KHz
- Impedancia de antena: 50 Ohm
- Temperatura de operación: - 20 ° C a + 60 ° C
- Alimentación: Baterías de Ion – Litio recargables de 7.4V/ 1800 mAh
- Consumo en standby: <=75 mA
- Consumo en recepción: 380 mA
- Consumo en transmisión: <=1.4 A
- Tipo de operación: Simple o semi – duplex
- Ciclo de trabajo: 03/ 03/ 54 MIN. (Rx/ Tx/ Standby)
- Dimensiones: 58 mm x 110 mm x 32 mm
- Peso: 130 g aproximadamente

### Transmisión:

- Potencia de transmisión: 4 W/ 1 W
- Tipo de modulación: FM
- Clase de emisión: 16 K@ F3E/ 11 K @ F3E (W/ N)
- Desviación máxima: <= +- 5 kHz/ <= 2.5 kHz (W/ N)
- Emisión de espurias: < - 60 dB

### Recepción:

- Sensibilidad del receptor: 0.2 u V (a 12 dB SINAD)
- Intermodulación: 60 dB
- Salida de audio: 1000 mW
- Selectividad de canales contiguos: 65/ 60 dB





**Figura 3.18:** Transceptor portátil Baofeng VU-5R

## 3.6- GENERADOR DE SEÑALES AGILENT ENSA DE TÁNGER

### 3.6.1- Introducción

Con el fin de poder verificar que las señales de audio que se introducen en la tarjeta de sonido del ordenador son analizadas correctamente, se utilizaron en las pruebas realizadas en la Escuela Nacional de Ingeniería de Tánger los equipos de laboratorios allí disponibles, en concreto el Generador de Funciones y de Onda Arbitraria Agilent 33250A.

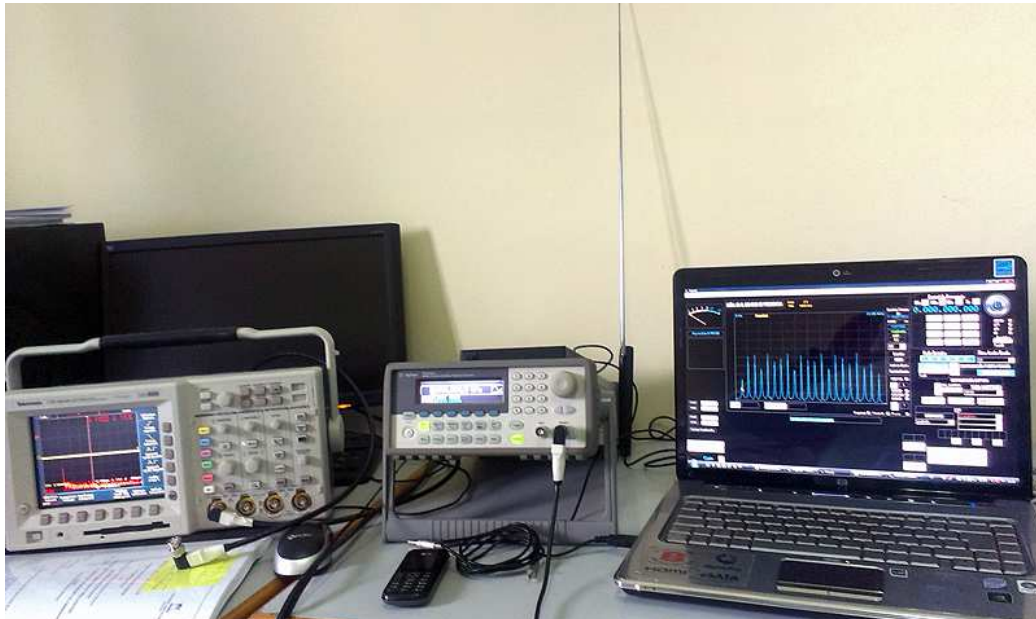
El generador de funciones/forma de onda arbitraria 33250A de Agilent Technologies utiliza técnicas de síntesis digital directa (DDS) para crear una señal de salida estable y precisa que permite obtener ondas sinusoidales limpias con baja distorsión. Asimismo, proporciona ondas cuadradas con rápidos tiempos de subida/bajada de hasta 20 MHz y ondas de rampa lineal de hasta 200 kHz.

El 33250A puede generar pulsos con tiempo de flanco variable de hasta 5 MHz. Al disponer de periodo, anchura de pulso y amplitud variables, el 33250A es idóneo para un amplio abanico de aplicaciones en las que es necesaria una señal de pulso flexible.

Se utiliza el 33250A para generar formas de onda complejas. Gracias a la resolución de 14 bits y una velocidad de muestreo de 50 Mmu/s, el 33250A le aporta flexibilidad para crear las formas de onda que necesita. Asimismo, le permite almacenar hasta cuatro formas de onda en memoria no volátil.

Con la modulación interna AM, FM, PM, FSK y PWM resulta sencillo modular formas de onda sin necesidad de ninguna fuente de modulación independiente. Los barridos lineales y logarítmicos

también están incorporados y permiten seleccionar velocidades de barrido desde 1 ms hasta 500 s. Con el modo de ráfaga, el usuario puede seleccionar el número de ciclos por periodo de tiempo. Incorpora de serie interfaces GPIB, LAN y USB, así como capacidades de programación completas mediante comandos SCPI.



**Figura 3.19:** Generador de funciones Agilent 33250A y el ordenador mostrando los resultados

### 3.7- Tarjeta de sonido

La tarjeta de sonido (que también se denomina placa de audio) es un elemento del ordenador que permite administrar la entrada y salida del audio. La tarjeta de sonido fue introducida, desde el año 1980, por muchos fabricantes de ordenadores.

En general, la tarjeta de sonido viene conectada a la placa madre del ordenador a través de un conector ISA o PCI. También existen muchas placas madre que vienen con tarjeta de sonido integrada.

Los componentes principales de una tarjeta de sonido son:

- Procesador de señales digitales DSP cuya función es procesar todo el audio digital
- Convertidor Digital Analógico DAC que permite convertir los datos de audio del ordenador en una señal analógica que luego será enviada al sistema de sonido (como por ejemplo altavoces o un amplificador)
- Convertidor Analógico Digital ADC que permite convertir una señal analógica de entrada en datos digitales que puedan ser procesados por el ordenador
- Conectores externos de entrada/salida:

En vez de ADC y DAC separados, algunas tarjetas de sonido usan un circuito que se llama CODEC (coder/decoder), que realiza ambas funciones.



### **3.8- Software Utilizado**

#### **Visual Basic**

Visual Basic [BROW99] es una herramienta de diseño de aplicaciones para Windows, donde el programa está formado por una parte de código puro, y otras partes asociadas a los objetos que forman la interface gráfica. Visual Basic es un término medio entre la programación estructurada y la programación orientada a objetos.

Se pueden usar estas herramientas conjuntamente para crear aplicaciones completas en un periodo corto de tiempo si se comparan con el tiempo necesario empleando otros lenguajes.

#### **Spectralab**

Spectralab 4.3.2, Programa de análisis en los dominios temporal y frecuencial de señales comprendidas entre 0Hz y 20 kHz. Permite el registro de señales de audio (que se obtendrán a partir de la salida de audio de los receptores ICOM PCR1000) correspondientes a la interferencia radiada identificada para su posterior análisis y conservación en CDROM. Permite los modos de trabajo de: Monitorización, Registro y Postproceso con distintas frecuencias de muestreo y ventanas (Hamming, Hanning, etc.).



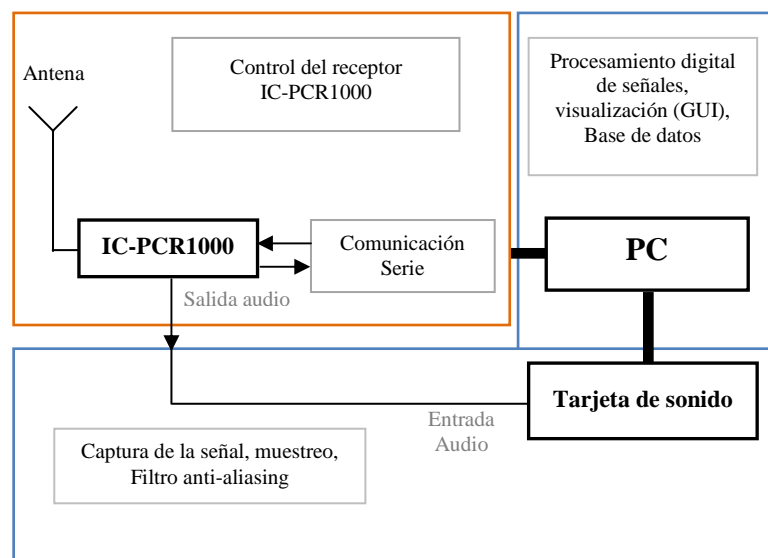
## CAPITULO 4: SISTEMAS DESARROLLADOS

### 4.1- INTRODUCCIÓN

El sistema de medición desarrollado (figura 6.1) es un sistema de medida basado en ordenador que toma una señal continua en su entrada y realiza un muestreo para obtener una secuencia de datos discretos  $x(n)$ . Este muestreo periódico se logra utilizando la tarjeta de sonido del PC. La señal temporal discreta se convierte, a continuación, desde el dominio del tiempo al dominio de frecuencia mediante el cálculo de la transformada discreta de Fourier (DFT) para estimar el espectro. Utilizamos el algoritmo de transformada Rápida de Fourier (FFT) para implementar la DFT. El enventanado es una técnica utilizada para reducir el efecto *leakage*. Con la presencia de ruido de fondo, es muy difícil detectar la señal de interés, por esta razón, se utilizan algunas técnicas de promediado con el fin de reducir el ruido de fondo y extraer la señal de interés.

En el procedimiento de análisis presentamos los parámetros de medición, mostrando su efecto. A continuación se describen las diferentes etapas del sistema desarrollado.

Utilizamos el término lóbulo principal para referirnos a la energía de la componente de frecuencia principal de la señal de entrada, y GUI para referirnos al sistema de visualización gráfico desarrollado (interfaz gráfico del usuario)



**Figura 4.1:** Esquema simplificado de los componentes principales integrados en la implementación de la Tesis

En la figura 4.1 se representan las tres partes fundamentales que componen este capítulo, y que son:

- Control del receptor IC-PCR1000
- Captura de la señal
- Análisis de la señal
- Visualización (GUI)
- Base de datos

En la figura 4.2 se representa el esquema general de la Tesis, indicando numéricamente el parágrafo de la Tesis al que corresponde el proceso definido en el diagrama de bloques, con lo cual, el lector, puede acceder de forma directa a la descripción del proceso de interés.

## Esquema General de la Tesis

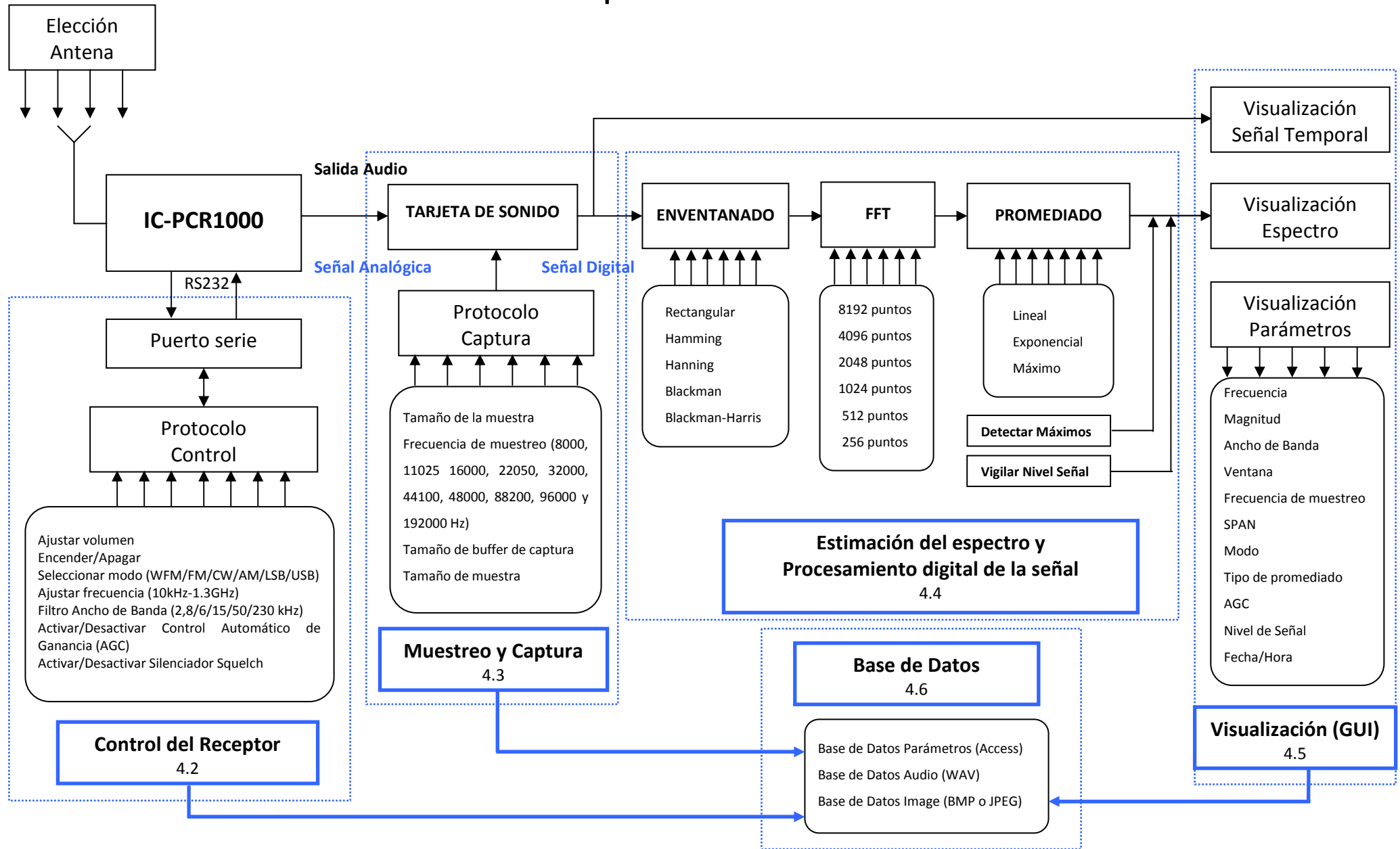


Figura 4.2: Esquema general de la Tesis

## **4.2- CONTROL DEL RECEPTOR IC-PCR1000**

### **4.2.1- Introducción**

En esta parte se describen las soluciones implementadas para el control del receptor IC-PCR1000. Dicho control se realiza a través del puerto RS232. La comunicación entre el IC-PCR1000 y el PC se realiza usando el formato ASCII. No existen publicaciones, ni siquiera en la propia página del constructor que detallan como controlar el IC-PCR1000, por este motivo, en esta Tesis, una parte ha sido dedicada a la investigación de cómo se realiza dicho control del IC-PCR1000. La solución final implementada consiste en desarrollar un método de comunicaciones mediante paquetes de datos.

### **4.2.2- Descripción de las funciones generales del control del IC-PCR1000 implementadas**

Se ha implementado el sistema para 3 tipos de funcionamiento:

- 1- Modo Manual: permite controlar el receptor a frecuencias seleccionadas manualmente;
- 2- Modo automático: permite controlar el receptor a frecuencias de interés que están pre-programadas anteriormente;
- 3- Modo escaneo-automático: permite realizar un escaneo continuo de 10 canales, elegidos por el usuario.

Las funciones generales del control implementadas y programadas son:

- Inicialización de la comunicación
- Encender/Apagar (todos los modos)
- Ajustar volumen (todos los modos)
- Ajustar frecuencia (modo 1 y modo 3)
- Seleccionar modo (WFM/FM/CW/AM/LSB/USB) (modo 1 y modo 3)
- Filtro Ancho de Banda (modo 1 y modo 3)
- Activar/Desactivar Control de Ganancia Automático (AGC) (modo 1 y modo 3)
- Activar/Desactivar función Silenciador Squelch (modo 1 y modo 3)
- Activar/Desactivar función Silenciador NB (modo 1 y modo 3)

#### 4.2.2.1- Inicialización de la Comunicación

El IC-PCR1000 se conecta el PC a través del puerto serie (figura 4.3). Inicialmente, es necesario configurar los parámetros del puerto serie RS232 indicando el número de puerto usado, la velocidad, bit de paridad, bit de stop, de acuerdo con las características del IC-PCR1000. La comunicación serie es el protocolo más común de bajo nivel para la comunicación entre dos o más dispositivos. Normalmente, un dispositivo es un ordenador, mientras otro dispositivo puede ser un módem, una impresora, otro ordenador, o un instrumento científico como en nuestro caso el receptor IC-PCR1000.

El puerto serie envía y recibe los bytes de información en una manera sucesiva - un bit a la vez. Estos bytes son transmitidos usando formato binario o un formato de texto (ASCII). El IC-PCR1000 comunica usando el formato ASCII.

El estándar RS-232 se aplica a las comunicaciones serie entre el equipo terminal de datos (ordenador), llamado en inglés DTE (Data Terminal Equipment), y el equipo de terminación del circuito de datos, llamado en inglés DCE (Data Communication Equipment). En nuestro caso el DCE es el receptor IC-PCR1000. La comunicación debe ser a velocidades iguales o menores a 20 Kbps, con una longitud de cable de hasta 15 metros. Si deseamos controlar el IC-PCR1000 a más distancia, es necesario pasar al protocolo RS485 mediante convertidores RS232-RS485.



**Figura 4.3:** Parte trasera del ICOM-PCR1000  
Ilustración cedida por cortesía de ICOM-Spain

Para comunicar con el IC-PCR1000 se usan comandos predeterminados en formato códigos ASCII.

Todos los comandos son enviados en formato de código ASCII de la siguiente manera:

Commando + CR + LF

CR = chr\$(13)

LF = chr\$(10)

Algunas respuestas del PCR1000 tienen añadidos algunos caracteres al final de la respuesta del carácter. Es generalmente un duplicado del carácter pasado de la secuencia y puede ser desechado

Cada comando u orden tiene una función, por ejemplo el comando G0 se envía desde el controlador que es el programa realizado por Visual Basic hacia el receptor que es la radio IC-PCR1000, éste último responde enviando G0 00 que significa que está listo para funcionar, sino en el caso contrario puede enviar G0 01.

Controlador >> receptor

**G0 ? <CR><LF>**

(1) (2) (5)

Receptor >> controlador

**G0 00 <CR><LF>**

(3) (4) (5)

(1) Comando

(2) Solicitud o pregunta de estado.

(3) Confirmación de Orden recibida

(4) Respuesta a la orden; 00 = OK, 01 = NG

(5) Fin del mensaje.

Después de la recepción de la respuesta afirmativa desde el IC-PCR1000 se configura la velocidad de transmisión en baudios para tener el mismo protocolo de comunicación y poder establecer la comunicación.

Se utiliza el comando G1

Controlador >> Receptor

**G1 03 <CR><LF>**

(1) (2) (5)

Receptor >> Controlador

**G0 00 <CR><LF>**

(3) (4) (5)

(1) comando

(2) velocidad de comunicación

Los códigos que se deben usar para configurar la velocidad de comunicación del receptor son presentados en la tabla 4.1.



Velocidad de comunicación	Código
1200 bps	00
2400 bps	01
4800 bps	02
9600 bps	03
19200 bps	04
38400 bps	05
38400 bps	otro

**Tabla 4.1:** Códigos para configurar la velocidad de comunicación del receptor IC-PCR1000

(3) Confirmación de orden recibida

(4) Resultado; 00 = OK, 01 = NG

(5) Fin del mensaje.

A continuación se muestra el código de configuración del puerto de comunicación del IC-PCR1000

```
-----
Private Sub Label10_Click()
MSComm1.CommPort = VScroll16.Value
MSComm1.Settings = "9600,N,8,1"
MSComm1.PortOpen = True
End Sub
-----
```

#### 4.2.2.2- Encender/Apagar la radio

El receptor IC-PCR1000 envía cada segundo el mensaje "H000" cuando el puerto se ha abierto correctamente, y se queda en estado de espera.

Para encender/apagar el receptor se utiliza la instrucción "H1XX"

Controlador >> Receptor

**H1 01 <CR><LF>**

(1) (2) (5)

Receptor >> controlador (mensaje de respuesta)

**G0 00 <CR><LF>**

(3) (4) (5)

(1) Commando

(2) Encender/Apagar el receptor

Los códigos que se deben usar para Encender/Apagar el receptor son presentados en la tabla 4.2.

Modo de emisión	Código
Receptor IC-PCR1000 en estado OFF	00
Receptor IC-PCR1000 en estado ON	otro

**Tabla 4.2:** Códigos para Encender/Apagar el receptor IC-PCR1000

- (3) Confirmación de orden recibida
- (4) Reservado: valor devuelto (siempre 00)
- (5) Fin del mensaje

A continuación se pone el código para encender el IC-PCR1000

```
-----
MSComm1.Output = "H101" & Chr$(13) & Chr$(10)
-----
```

Es muy importante saber que hay que actualizar este comando cada cierto tiempo, sino, el receptor se apaga, para ello se usa un temporizador donde se comprueba si el receptor sigue encendido o no.

Hemos de hacer notar que, conectando el PCR1000 a un ordenador moderno sin puerto RS232 el receptor se apaga automáticamente cuando utilizamos un convertidor USB-RS232 con los programas de control que suministra ICOM con el aparato y que hemos mostrado en la figura 3.3 y 3.5 ya que estas no envían el comando anterior a través de USB.

#### 4.2.2.3- Sintonizar la frecuencia, modos y filtro de ancho de banda

La instrucción que permite la programación de la frecuencia en el IC-PCR1000 es la siguiente:

**K0GMMMKKKHHHmmmff00**

Donde :

K0: función frecuencia  
G=GHz  
MMM=MHz  
KKK=KHz  
HHH=Hz  
mm = modo de emisión  
ff = Filtro aplicado  
00 = Bytes de relleno (siempre presentes)

Puesto que el control del IC-PCR1000 se realiza mediante código ASCII, la implementación de esta parte ha sido complicada. Lo que se pretende es poder ajustar la frecuencia, modo de emisión y filtro de ancho de banda en tiempo real, en cualquier momento desde el GUI. Las instrucciones que se pasan al receptor no son números, sino, son cadenas de caracteres.

Vamos a dar un ejemplo para ilustrar esta dificultad. Suponemos que queremos sintonizar el receptor a la frecuencia de 100kHz, modo FM y filtro 50khz.

Eso es simple mediante la instrucción siguiente:

```
MSComm1.Output = "K0" & "0" & "000" & "100" & "000" & "05 03 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
```

Ahora si queremos ajustar otra frecuencia y modo, por ejemplo 156,25MHz, modo WFM y filtro 230kHz.

Eso se consigue con enviar la instrucción nueva siguiente:

```
MSComm1.Output = "K0" & "0" & "156" & "250" & "000" & "06 04 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
```

Realmente lo que hemos enviado al receptor son las instrucciones siguientes:

```
"K00000100000050300"
```

```
"K00156250000060400"
```

Ahora, hablando del segundo caso, si en vez de enviar al receptor una nueva instrucción con frecuencia nueva y modo distinto, suponemos que estamos analizando una señal y lo que se pretende es incrementar la frecuencia por 1Hz, para eso se debe enviar al receptor esta instrucción:

```
"K00156250001060400"
```

Ahora vamos a incrementar la frecuencia por 1kHz, se debe enviar al receptor la instrucción siguiente:

```
"K00156251001060400"
```

Ahora vamos a reducir la frecuencia del receptor por 2kHz. La instrucción que se debe enviar es la siguiente:

```
"K00156249001060400"
```

Vamos a poner las 4 instrucciones enviadas al receptor:

```
Caso 1: "K00156250000060400"
```

```
Caso 2: "K00156250001060400"
```

```
Caso 3: "K00156251001060400"
```

```
Caso 4: "K00156249001060400"
```

Para poder cambiar eso de manera numérica es muy complicado.

La solución definitiva para implementar esta posibilidad que proponemos en nuestra Tesis es la programación mediante paquetes de datos, utilizando tablas de datos tipo “string”. La idea consiste en crear una tabla llamada “paquete” de dimensión 18 elementos (tabla 4.3), para el caso de sintonizar frecuencia, modo y filtro.

**“paquete”**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
función	GHz	MHz			kHz			Hz			Modo		BW		Fin		

**Tabla 4.3:** tabla “paquete” de dimensión 18 para el control de la frecuencia, modos y filtro BW

La tabla “paquete” siempre estará inicializada al principio con los valores “K000000000000000000” como se muestra en la tabla 4.4.

**“paquete”**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
función	GHz	MHz			kHz			Hz			Modo		BW		Fin		

**Tabla 4.4:** Inicialización de la tabla paquete

Cada elemento de la tabla va ser reservado como parte de la instrucción que debemos enviar al receptor, y lo que hacemos va ser actualizar los elementos de la tabla que corresponden al dato modificado, y no la tabla entera. Por ejemplo los elementos de la tabla: paquete [7], paquete[8] y paquete[9] van a representar respectivamente el primer dígito, segundo y tercero de los kHz, mientras los elementos paquete [15], paquete[16] van a contener siempre los datos del filtro de ancho de banda del receptor. En la tabla 4.5 se representa estos ejemplos.

**“paquete”**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
función	GHz	MHz			kHz			Hz			Modo		BW		Fin		

**Tabla 4.5:** Configuración de los kHz y filtro

Una vez finalizado con modificar los parámetros y actualizar los elementos de la tabla, se envía el paquete entero al receptor.

Vamos a explicar eso mediante el mismo ejemplo anterior:

**“paquete”**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
K	0	0	1	5	6	2	5	0	0	0	0	0	6	0	4	0	0
función	GHz	MHz			kHz			Hz			Modo		BW		Fin		

**Tabla 4.6:** configuración de la frecuencia 156.25MHz, modo WFM, filtro 230 kHz: Caso 1:  
"K0015625000060400"

**"paquete"**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
K	0	0	1	5	6	2	5	0	0	0	1	0	6	0	4	0	0
función	GHz	MHz			kHz			Hz				Modo		BW		Fin	

**Tabla 4.7:** configuración de la frecuencia 156.250.001Hz, modo WFM, filtro 230 kHz: Caso 2: "  
K00156250001060400"

Como se puede observar en la tabla solo se ha modificado el elemento paquete[12]

**"paquete"**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
K	0	0	1	5	6	2	5	1	0	0	1	0	6	0	4	0	0
función	GHz	MHz			kHz			Hz				Modo		BW		Fin	

**Tabla 4.8:** configuración de la frecuencia 156.251.001 Hz, modo WFM, filtro 230 kHz: Caso 3:  
"K00156251001060400"

Como se puede observar en la tabla solo se ha modificado el elemento paquete[9]

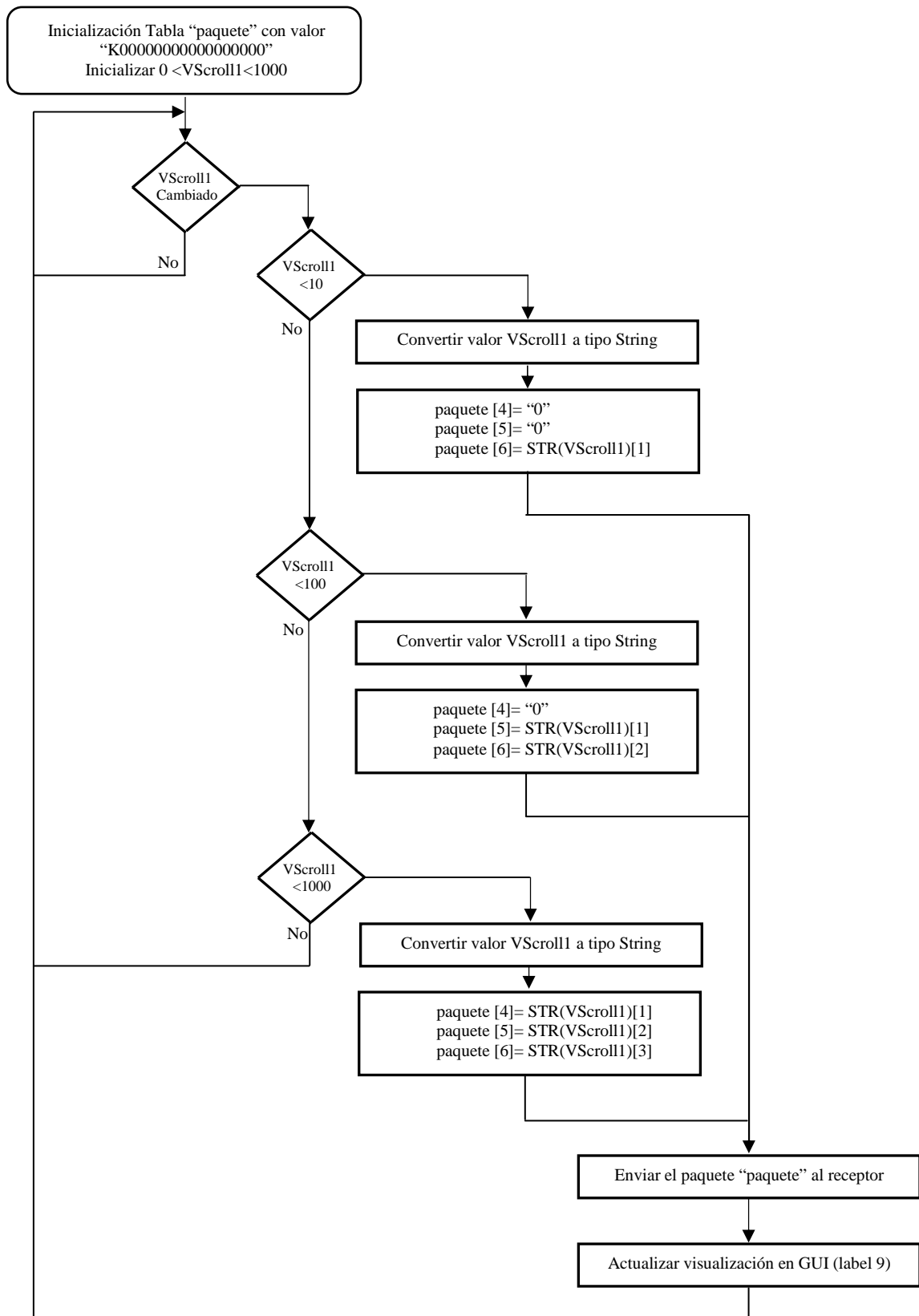
**"paquete"**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
K	0	0	1	5	6	2	4	9	0	0	1	0	6	0	4	0	0
función	GHz	MHz			kHz			Hz				Modo		BW		Fin	

**Tabla 4.9:** configuración de la frecuencia 156.249.001 Hz, modo WFM, filtro 230 kHz: Caso 3:  
"K00156249001060400"

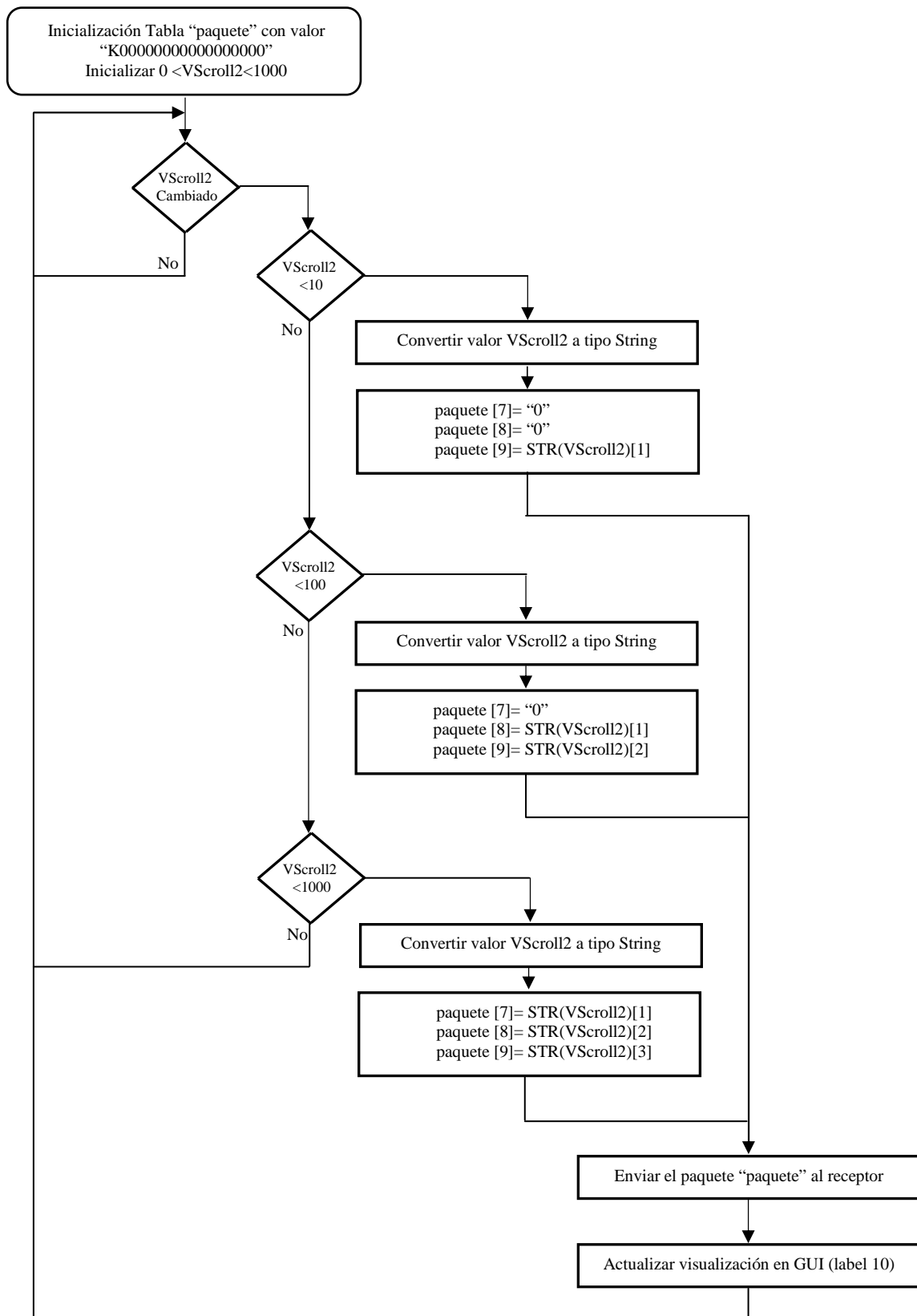
Como se puede observar en la tabla solo se ha modificado el elemento paquete[8] y paquete[9]

#### 4.2.2.3.a- Control de los MHz



**Figura 4.4:** Diagrama de flujo del control implementado para el control de los MHz del receptor PCR1000

#### 4.2.2.3.b- Control de los kHz



**Figura 4.5:** Diagrama de flujo del control implementado para el control de los kHz del receptor PCR1000

#### 4.2.2.3.c- Control de los Hz

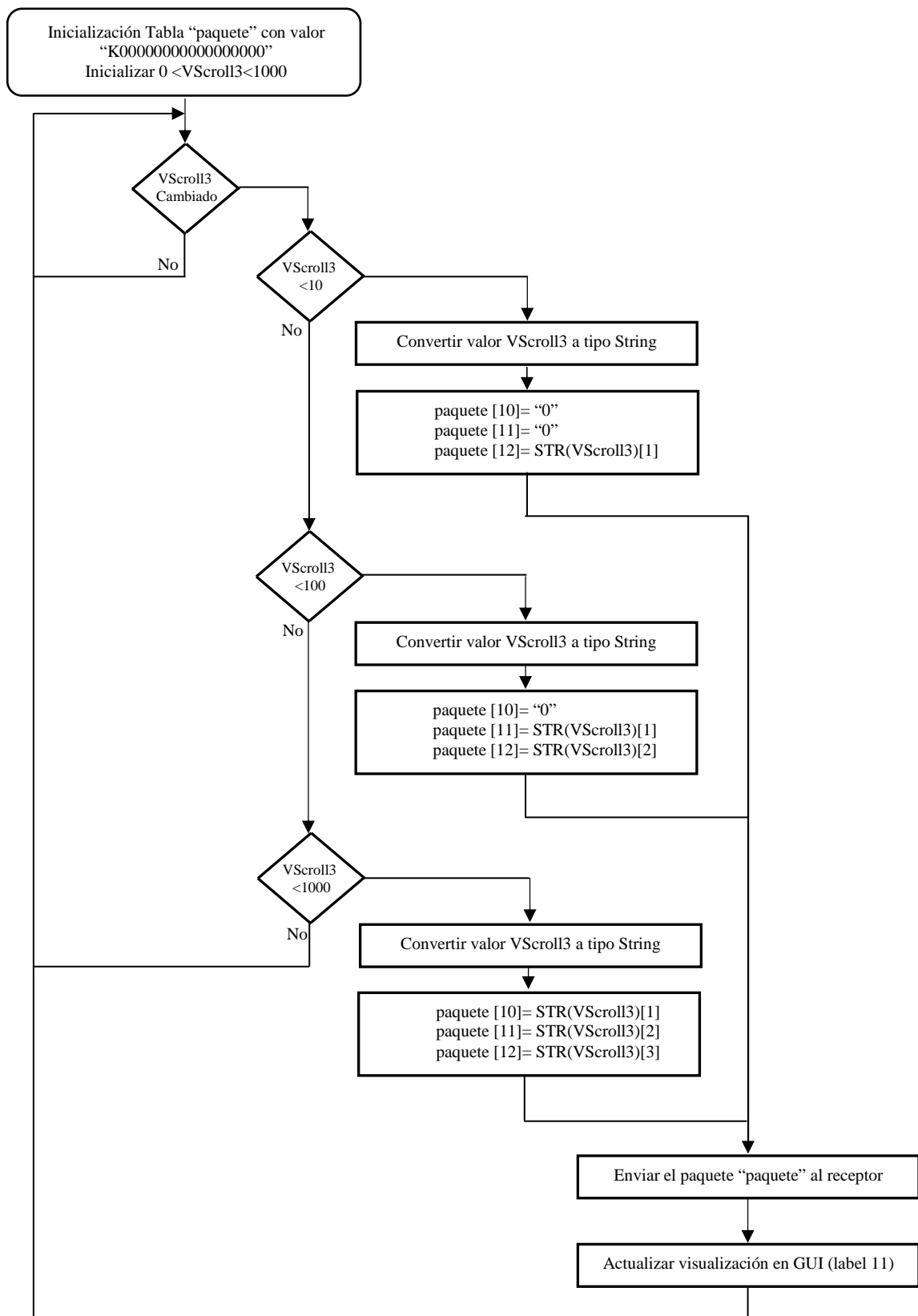


Figura 4.6: Diagrama de flujo del control implementado para el control de los Hz del receptor PCR1000



#### 4.2.2.3.d- Elección del modo de emisión

La configuración del modo de emisión se realiza mediante el acceso a los elementos 13 y 14 de la tabla paquete (tabla 4.10).

##### “paquete”

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
función	GHz	MHz		kHz			Hz			Modo		BW		Fin			

**Tabla 4.10:** parte del paquete reservado a la configuración del modo de emisión

Los modos que permite el receptor IC-PCR1000 son LSB, USB, AM, CW, NFM y WFM. Los códigos que se deben usar en el paquete posición 13 y 14 son presentados en la tabla 4.11.

Modo de emisión	Código
LSB	00
USB	01
AM	02
CW	03
NFM	05
WFM	06

**Tabla 4.11:** Códigos para la configuración del modo de emisión del receptor IC-PCR1000

##### 4.2.2.3.d.1- Modo LSB: código “00”

```
-----
Private Sub Command75_Click()
Mid(paquete, 13, 2) = "00"

MSComm1.Output = paquete & Chr$(13) & Chr$(10)

Command75.BackColor = &HFF&
Command71.BackColor = &H8000000D
Command72.BackColor = &H8000000D
Command73.BackColor = &H8000000D
Command74.BackColor = &H8000000D
Command9.BackColor = &H8000000D

Modo = "LSB" 'uso para base de datos
End Sub
-----
```

##### 4.2.2.3.d.2- Modo USB: código “01”

```
-----
Private Sub Command74_Click()
Mid(paquete, 13, 2) = "01"

MSComm1.Output = paquete & Chr$(13) & Chr$(10)

Command74.BackColor = &HFF&
Command71.BackColor = &H8000000D
Command72.BackColor = &H8000000D
Command73.BackColor = &H8000000D
```

```

Command9.BackColor = &H8000000D
Command75.BackColor = &H8000000D

Modo = "USB" 'uso para base de datos
End Sub
-----

```

#### 4.2.2.3.d.3- Modo AM: código “02”

```

Private Sub Command73_Click()
Mid(paquete, 13, 2) = "02"

MSComm1.Output = paquete & Chr$(13) & Chr$(10)

Command73.BackColor = &HFF&
Command71.BackColor = &H8000000D
Command72.BackColor = &H8000000D
Command9.BackColor = &H8000000D
Command74.BackColor = &H8000000D
Command75.BackColor = &H8000000D
Modo = "AM" 'uso para base de datos
End Sub

```

#### 4.2.2.3.d.4- Modo CW: código “03”

```

Private Sub Command72_Click()
Mid(paquete, 13, 2) = "03"

MSComm1.Output = paquete & Chr$(13) & Chr$(10)

Command72.BackColor = &HFF&
Command71.BackColor = &H8000000D
Command9.BackColor = &H8000000D
Command73.BackColor = &H8000000D
Command74.BackColor = &H8000000D
Command75.BackColor = &H8000000D

Modo = "CW" 'uso para base de datos
End Sub

```

#### 4.2.2.3.d.5- Modo NFM: código “05”

```

Private Sub Command71_Click()
Mid(paquete, 13, 2) = "05"

MSComm1.Output = paquete & Chr$(13) & Chr$(10)

Command71.BackColor = &HFF&
Command9.BackColor = &H8000000D
Command72.BackColor = &H8000000D
Command73.BackColor = &H8000000D
Command74.BackColor = &H8000000D
Command75.BackColor = &H8000000D

Modo = "FM" 'uso para base de datos
End Sub

```

#### 4.2.2.3.e- Filtro de ancho de banda

El ancho de banda de la resolución se refiere al ancho de banda del filtro de Frecuencia Intermedia (IF) [WITT93], el cual determina la resolución en frecuencia del instrumento. En el caso de tener más de un filtro FI, el más estrecho es el que domina y se considera como ancho de banda de resolución.

La elección del ancho de banda de resolución depende de varios factores. Los filtros tienen un tiempo de corrección y estabilización, este tiempo es el retraso que tarda una señal desde la entrada del filtro hasta su salida.

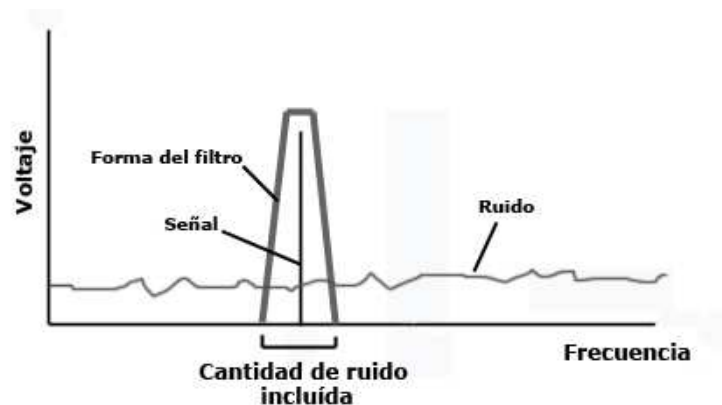
Cuando más estrecho sea el ancho de banda del filtro, podremos detectar una señal más estrecha, pero a cambio más grande será el tiempo de procesado y el tiempo que tarda en barrer las frecuencias presentadas en la pantalla del analizador. En la mayoría de casos este tiempo se puede ignorar, pero si se utilizan muchos filtros de banda estrecha este tiempo puede ser significativo.

En la banda estrecha, la sintonización es difícil para algunas señales, particularmente si la señal es variable o desconocida, pudiendo darse el caso de no ser detectada por ser más rápida que el tiempo de barrido del analizador.

La elección de la resolución del ancho de banda dependerá de la aplicación y sobre todo de la señal que queremos medir. En el caso de tener dos señales muy próximas en frecuencia, si necesitamos medir las dos líneas espectrales individualmente, es necesario utilizar un filtro de banda estrecho. Si utilizamos un filtro de banda ancho, la energía de las dos señales será incluida en la medida como si fuera una sola señal.

Otro factor importante es el ruido ambiente presente a la hora de medición. Este ruido en la mayoría de los casos se ignora porque su valor es muy pequeño en comparación al valor de la señal a medir.

Pero para niveles bajos de medición, el ruido puede ser un elemento importante que afecta mucho a las mediciones. La banda de frecuencias que componen el ruido es una banda muy ancha, por eso está presente en un gran intervalo de frecuencias en el dominio de frecuencia. Si el ruido está incluido en la medición, el valor de esta última será erróneo dependiendo del nivel de ruido [WITT93]. Las figuras 4.7 y 4.8 muestran la medición de una señal en presencia del ruido. Con banda ancha tenemos más ruido incluido en la medición. Con banda estrecha tenemos poco ruido incluido en la medición y la medición será más exacta.



**Figura 4.7:** Medición en banda estrecha. La cantidad de ruido incluida en la medida es pequeña  
Ilustración cedida por cortesía de [WITT93]



**Figura 4.8:** Medición en banda ancha. Se incluye más cantidad de ruido en la medida  
Ilustración cedida por cortesía de [WITT93]

La configuración del filtro de ancho de banda se realiza mediante el acceso a los elementos 15 y 16 de la tabla paquete (tabla 4.12)

#### “paquete”

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
función	GHz	MHz				kHz				Hz			Modo	BW		Fin	

**Tabla 4.12:** parte del paquete reservado a la configuración del filtro de ancho de banda

Los valores de filtros modos que permite el receptor IC-PCR1000 son 2.8, 6, 15, 50 y 230 kHz.

Los códigos que se deben usar en la tabla paquete posición 15 y 16 son representados en la tabla 4.13:

Filtro de ancho de banda	Código
2.8 KHz	00
6 KHz	01
15 KHz	02
50 KHz	03
230 KHz	04

**Tabla 4.13:** Códigos para la configuración del filtro de ancho de banda del receptor IC-PCR1000

```

-----
Private Sub Combo3_Click()
Ancho_banda = Combo3.List(Combo3.ListIndex)

If MSComm1.PortOpen = True Then
    Select Case Ancho_banda
        Case 2.8
            Mid(paquete, 15, 2) = "00"

            MSComm1.Output = paquete & Chr$(13) & Chr$(10)
        Case 6
            Mid(paquete, 15, 2) = "01"

            MSComm1.Output = paquete & Chr$(13) & Chr$(10)
        Case 15
            Mid(paquete, 15, 2) = "02"

            MSComm1.Output = paquete & Chr$(13) & Chr$(10)
        Case 50
            Mid(paquete, 15, 2) = "03"

            MSComm1.Output = paquete & Chr$(13) & Chr$(10)
        Case 230
            Mid(paquete, 15, 2) = "04"

            MSComm1.Output = paquete & Chr$(13) & Chr$(10)
    End If

    'a = Combo3.ListIndex
    'MSComm1.Output = "K0" & "0" & ("000" + VScroll11.Value) & "000000" & "06" &
    "0" & (Combo3.ListIndex) & "00" & Chr$(13) & Chr$(10)
    'Text3.Text = "K0" & "0" & ("000" + VScroll11.Value) & "000000" & "06" & "0" &
    (Combo3.ListIndex) & "00" & Chr$(13) & Chr$(10)
End Select
End If
End Sub
-----

```

#### 4.2.2.4- Ajuste del volumen

El paquete utilizado para el control de la función ajuste de volumen es “J40XX” donde XX es el valor en hexadecimal. El valor mínimo es 00 y máximo es FF.

La solución implementada para este control es mediante el uso de una tabla de dimensión 5 que se llama “volume” (tabla 4.14).

“volume”				
1	2	3	4	5
J	4	0	X	X

**Tabla 4.14:** tabla “volumen” reservada al control del volumen del receptor IC-PCR1000

La tabla “volumen” se inicializa inicialmente con los siguientes valores:

```

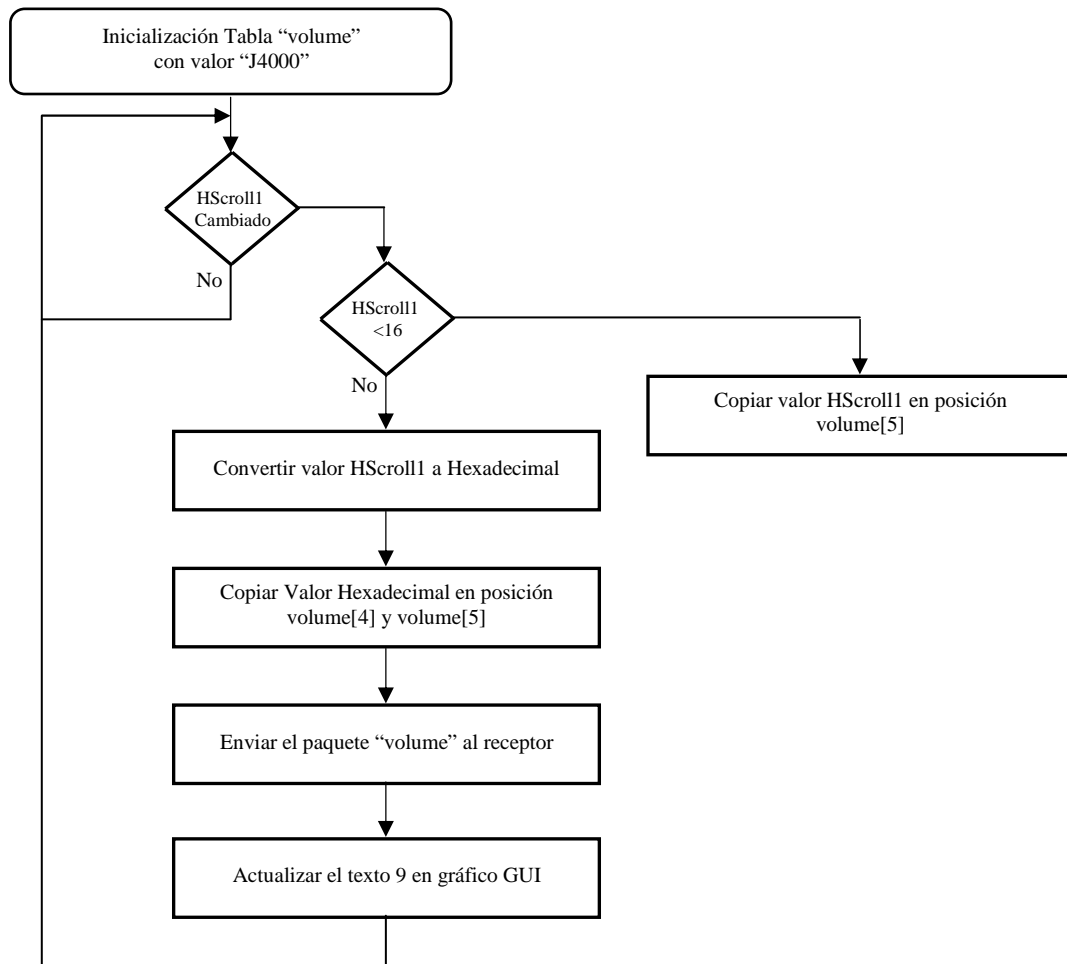
volume[1]= "J"
volume[2]= "4"
volume[3]= "0"
volume[4]= "0"
volume[5]= "0"

```

Después se ha implementado el control para modificar los elementos 4 y 5 de la tabla volumen.

Se utiliza un control “HScroll” para modificar los elementos 4 y 5 de la tabla “volume”.

El funcionamiento completo implementado en nuestra Tesis está representado en el diagrama de la figura 4.9.



**Figura 4.9:** Diagrama de flujo control de la función ajuste de volumen del receptor PCR1000

#### 4.2.2.5- Ajuste de la función “AGC”

El paquete utilizado para el control de la función “AGC” es “J45XX” donde XX es el valor binario, que puede ser 00 (AGC desactivado) o bien 01 (AGC activado).

La solución implementada para este control es mediante el uso de un control ON/OFF que una vez activado, se envía el paquete directamente al receptor.

### Activar AGC

```
"J4501" & Chr$(13) & Chr$(10)
```

### Desactivar AGC

```
"J4500" & Chr$(13) & Chr$(10)
```

```
-----  
Private Sub Check4_Click()  
    If (CBool(Check4.Value)) Then  
        MSComm1.Output = "J4501" & Chr$(13) & Chr$(10) 'AGC ON  
    Else  
        MSComm1.Output = "J4500" & Chr$(13) & Chr$(10) 'AGC OFF  
    End If  
End Sub  
-----
```

### Nota:

Las medidas deben ser realizadas con este control desactivado.

## 4.2.2.6- Control de la función Atenuador

El receptor IC-PCR1000 incorpora un atenuador que permite reducir en 10 dB la amplitud de la señal de entrada con el fin de no distorsionar el mensaje.

```
-----  
Private Sub Check6_Click()  
If (CBool(Check6.Value)) Then  
    'Text4.Text = "Attenuator ON"  
    MSComm1.Output = "J4701" & Chr$(13) & Chr$(10) 'Attenuator ON  
Else  
    MSComm1.Output = "J4700" & Chr$(13) & Chr$(10) 'Attenuator OFF  
    'Text4.Text = "Attenuator OFF"  
End If  
End Sub  
-----
```

## 4.2.2.7- Control de la función “Eliminador de ruido”

El receptor IC-PCR1000 incorpora un filtro eliminador de ruido o del Inglés "Noise Blanker" NB, que es un filtro sintonizable de rechazo de banda en la etapa IF. El filtro se sintoniza a la frecuencia de la portadora interferente, atenuándola en gran medida. El filtro no atenuará las bandas laterales de la señal interferente. Sin embargo, estas bandas laterales tienen una amplitud mucho más pequeña que la de la portadora interferente, así que su potencial de interferencia es menor.

Esta función debe ser desactivada durante el proceso de medición y análisis que realizamos.

```
-----  
Private Sub Check8_Click()  
If (CBool(Check8.Value)) Then  
    'Text4.Text = "Noise Blanker ON"  
    MSComm1.Output = "J4601" & Chr$(13) & Chr$(10) 'NB ON  
End If  
End Sub  
-----
```

```

Else
MSComm1.Output = "J4600" & Chr$(13) & Chr$(10) 'NB OFF
'Text4.Text = "Noise Blanker OFF"
End If
End Sub
-----

```

#### 4.2.2.8- Control de la función “squelch”

Un circuito silenciador (Squelch) inhabilita el audio del receptor en ausencia de un nivel de señal de entrada que supere en amplitud a otro nivel de señal que se toma como referencia. Ambos niveles de tensión son conducidos a un amplificador diferencial cuya salida habilita la entrada de la señal de audio en el amplificador de baja frecuencia previo al altavoz.

Se pone en práctica mediante el voltaje del control automático de ganancia. Cuando el voltaje es muy bajo, se quita la polarización del amplificador de audio. El circuito silenciador es muy utilizado para radios móviles de dos vías, ya que elimina el ruido de fondo del canal en ausencia de una emisión, pero puede evitar la recepción de una llamada de socorro si el operador ha ajustado mal el nivel de referencia [MASC11].

Las radios más modernas disponen de un silenciador automático que pondera el aumento de nivel de “ruido” en toda la banda pasante típica de la emisión de radio sobre el nivel de ruido “normal” del canal y si la radio entiende que el nivel de ruido corresponde a una emisión deseada, abre el altavoz.

El paquete utilizado para el control de la función “squelch” es “J41XX” donde XX es el valor en hexadecimal. La solución implementada para este control es mediante el uso de una tabla de dimensión 5 que se llama “squelch”.

**Table “squelch”**

1	2	3	4	5
J	4	1	X	X

**Tabla 4.15:** tabla “squelch” reservada al control de la función squelch del receptor IC-PCR1000

Inicialmente se inicializan los tres primeros elementos de la tabla de la siguiente forma:

squelch[1]= “J”

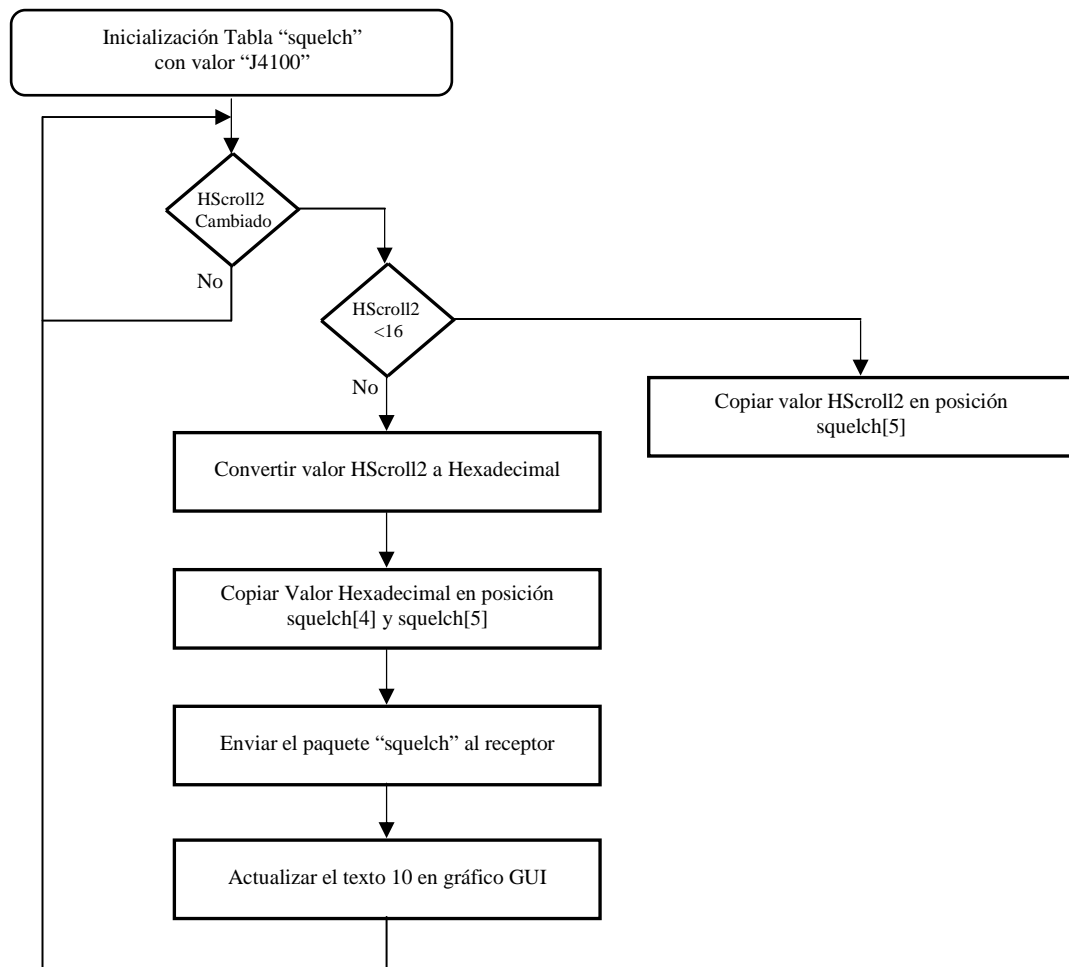
squelch[2]= “4”

squelch[3]= “1”

Se utiliza un control HScroll para modificar el elemento 4 y 5 de la tabla “squelch”



El funcionamiento completo implementado en nuestra Tesis está representado en el diagrama de la figura 4.10.



**Figura 4.10:** Diagrama de flujo control de la función squelch

```

-----
Private Sub HScroll2_Change()
Dim squelch As String
squelch = "J4100"

If (HScroll2.Value < 16) Then
    Mid(squelch, 5, 1) = Hex(HScroll2.Value)
Else
    Mid(squelch, 4, 2) = Hex(HScroll2.Value)
End If
MSComm1.Output = squelch & Chr$(13) & Chr$(10)
Text10.Text = squelch
End Sub
-----
  
```

#### 4.2.2.9- Inicialización automática completa del IC-PCR1000

```
-----
Private Sub MAutomatico_Click()

' Deshabilita interrupciones.
  MSComm1.RThreshold = 0
  MSComm1.SThreshold = 0

' -----
' --Iniciar comunicaciones con PCR-1000---
' -----

' Selecciona y abre puerta
If MSComm1.PortOpen = False Then
  MSComm1.CommPort = 10
  MSComm1.PortOpen = True
End If

' Turn radion On
MSComm1.Output = "H101" & Chr$(13) & Chr$(10)
Buffer$ = Buffer$ & MSComm1.Input

' Comando Okay, G00 ?..
Do
  DoEvents
  Buffer$ = Buffer$ & MSComm1.Input
Loop Until InStr(Buffer$, "G00")

' Set Baud rate to 38400
' MSComm1.Output = "G105" & Chr$(13) & Chr$(10)

' Set Autoupdate to OFF
MSComm1.Output = "G300" & Chr$(13) & Chr$(10)

' Is radio still ON ? Responds H100 for OFF, H101 for ON
MSComm1.Output = "H1?" & Chr$(13) & Chr$(10)
Do
  DoEvents
  Buffer$ = Buffer$ & MSComm1.Input
Loop Until InStr(Buffer$, "H101")

' Possible inquire country code US and UK version returns G410
MSComm1.Output = "G4?" & Chr$(13) & Chr$(10)
Do
  DoEvents
  Buffer$ = Buffer$ & MSComm1.Input
Loop Until InStr(Buffer$, "G410")

' Auto update ON
MSComm1.Output = "G301" & Chr$(13) & Chr$(10)

' Returns GE02 en version EU.
MSComm1.Output = "GE?" & Chr$(13) & Chr$(10)
Do
  DoEvents
  Buffer$ = Buffer$ & MSComm1.Input
Loop Until InStr(Buffer$, "GE02")

' Is DSP Installed ? Returns GD00 if NO, GD01 if Yes
MSComm1.Output = "GD?" & Chr$(13) & Chr$(10)
Do
  DoEvents
  Buffer$ = Buffer$ & MSComm1.Input
Loop Until InStr(Buffer$, "GD")

' Frecuencia modo y filtroand (RADIO NACIONAL 106.300 Khz)
```

```

MSComm1.Output = "K00106300000060400"
' MSComm1.Output = "K00857937500050200"

' Set Squelch
MSComm1.Output = "J4100" & Chr$(13) & Chr$(10)

' Set vcs off
MSComm1.Output = "J5100" & Chr$(13) & Chr$(10)

' Set Tone Squelch
MSComm1.Output = "J5000" & Chr$(13) & Chr$(10)

' Set IF Shift to mid range
MSComm1.Output = "J4380" & Chr$(13) & Chr$(10)
' Set AGC OFF
MSComm1.Output = "J4500" & Chr$(13) & Chr$(10)

' Set Noise Blanker OFF
MSComm1.Output = "J4600" & Chr$(13) & Chr$(10)

' Set attenuator off OFF
MSComm1.Output = "J4700" & Chr$(13) & Chr$(10)

' Not Known, radio replies G000
MSComm1.Output = "J4A80" & Chr$(13) & Chr$(10)

' Set Tracking filter to Automatic
MSComm1.Output = "LD8200" & Chr$(13) & Chr$(10)

' Set Volume varia entre 00 y FA
MSComm1.Output = "J4050" & Chr$(13) & Chr$(10)

' Muestra comandos recibidos de radio
MsgBox Buffer$

' -----
' --Finalizar Inicializacion de comunicaciones con PCR-1000--
' -----

' Habilita interrupciones.

MSComm1.RThreshold = 1
MSComm1.SThreshold = 1

End Sub
-----

```

#### 4.2.2.10- Lectura de los mensajes recibidos del IC-PCR1000

Se utiliza un temporizador que va enviando cada tiempo el comando de lectura de datos.

```

-----
Private Sub Timer2_Timer()
'Mostrar los mensajes recibidos desde el puerto serie PCR1000
'If ((MSComm1.Input = (Chr$(13) & Chr$(10)))) Then
MSComm1.Output = "H101" & Chr$(13) & Chr$(10) 'Actualisation de la commande ON
Text2.Text = MSComm1.Input & Text2.Text

'End If

End Sub
-----

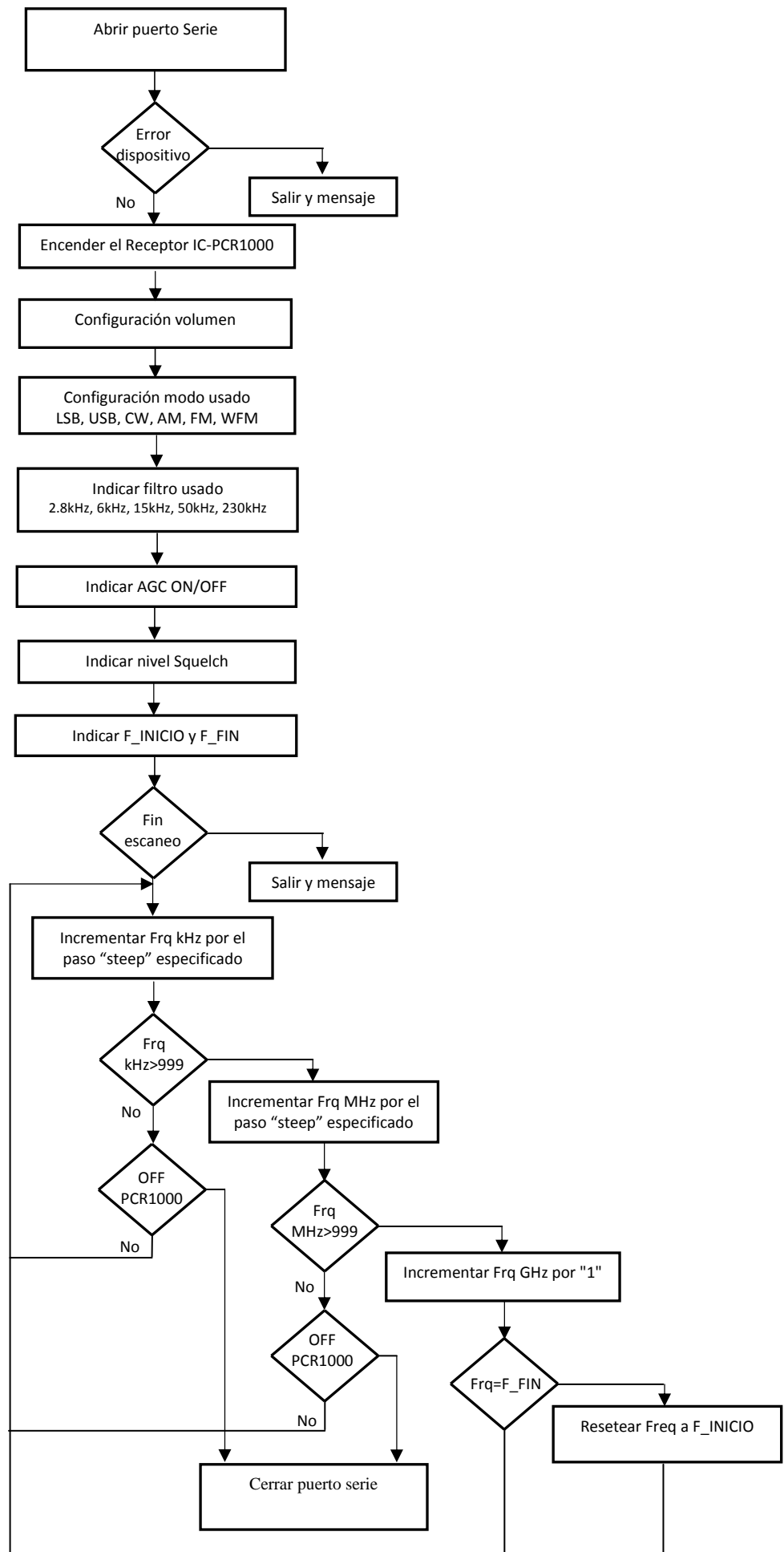
```

#### **4.2.2.11- Sistema de monitorización desarrollado mediante escaneo por el IC-PCR1000**

Uno de los algoritmos implementados consiste en realizar un escaneo automático del IC-PCR1000 para monitorizar frecuencias dentro de una banda de interés. La aplicación desarrollada permite fijar una frecuencia de inicio ( $F_{\text{inicio}}$ ) de escaneo y otra frecuencia de fin ( $F_{\text{fin}}$ ) de escaneo, el salto ( $F_{\text{Salto}}$ ) que se desea realizar de una frecuencia a otra durante el escaneo, el tiempo de duración de barrido ( $T_i$ ). Una vez iniciado el proceso, el receptor se sintoniza a la frecuencia  $F_{\text{inicio}}$  después de cada tiempo  $T_i$ , se incrementa la frecuencia por  $F_{\text{Salto}}$ , hasta llegar a la frecuencia  $F_{\text{Fin}}$ , y así seguirá el escaneo automático con barrido de frecuencia hasta que se desactiva esta función.

Durante el proceso de escaneo automático, se puede activar una función de vigilar el nivel marcado por el cursor, y cada vez que se supere este nivel, se guarda una imagen tipo "BMP" cuyo nombre será "ESPECTRO\_DIA\_MES\_AÑO\_HORA\_MINUTO\_SEGUNDOS.BMP"

Este sistema nos permite vigilar una zona del espectro determinado, monitorizando toda la zona de interés, y poder detectar todas las posibles interferencias ocurridas, el tiempo de su repetición, su frecuencia, y características en amplitud y ancho de banda.



**Figura 4.11:** Diagrama de flujo del sistema de monitorización desarrollado mediante escaneo por el IC-PCR1000

Después de finalizar la tarea del control del receptor IC-PCR1000, hemos sacado las conclusiones siguientes:

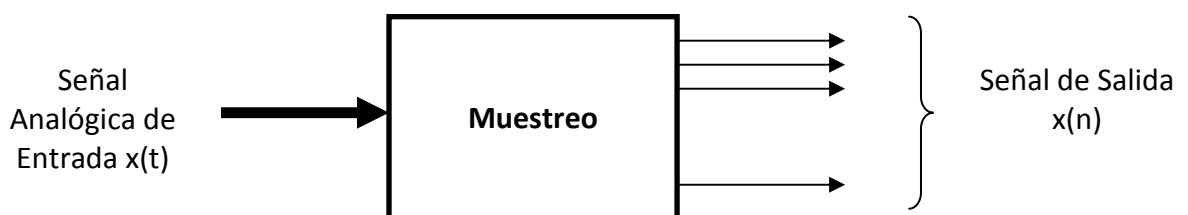
- Cuando el receptor se sintoniza a la frecuencia, modo de emisión, filtro de ancho de banda y volumen, bajo las condiciones inicialmente programadas, el IC-PCR1000 no permite enviar datos sobre la señal en sí a través del puerto serie RS232 sino que sólo permite enviar respuestas en formato de códigos ASCII que indican las operaciones se están realizando.
- El control por puerto serie no nos sirve como herramienta para acceder a la señal que deseamos capturar, ni tampoco podemos realizar un análisis detallado de la señal recibida por el receptor mediante este control.
- La solución que hemos propuesto es utilizar la salida audio del IC-PCR1000 que es el único lugar donde podemos acceder a la señal mediante un análisis en la banda del audio.

## 4.3- MUESTREO Y CAPTURA

### 4.3.1- Muestreo continuo de la señal

#### 4.3.1.1- Introducción

La señal que se captura desde la salida audio del IC-PCR1000 es una señal analógica. Esta señal se convierte al formato digital mediante la tarjeta de sonido del PC que tiene un convertidor Analógico Digital (CAD) interno y que será encargada de realizar la función del muestreo.



**Figura 4.12:** Principio de funcionamiento del muestreo.

La figura 4.12 representa el proceso de muestreo, en la entrada tenemos la señal a medir y analizar recibida desde el receptor IC-PCR1000, que es una señal analógica, o continua en el

tiempo  $x(t)$ . La primera etapa es el muestreo periódico que es el proceso de representación de la señal continua de entrada  $x(t)$  en secuencia de valores de datos discretos de salida  $x(n)$ .

El teorema de muestreo tiene gran importancia para nuestra Tesis, es necesario saber como se realiza un muestreo de una señal continua de manera que se preserve el contenido en información de dicha señal.

La frecuencia de muestreo es uno de los parámetros que cambiamos durante la fase del análisis en tiempo real. Es necesario entender el muestreo para saber interpretar los resultados que se obtienen con nuestro método. Por este motivo, se da una importancia a los aspectos teóricos del muestreo y ponemos esta parte para describir de manera muy resumida el muestreo, los problemas relacionados con este proceso, y las soluciones aportadas.

#### 4.3.1.2- Frecuencia de muestreo (*sampling rate*)

El primer factor a controlar durante la captura usando la tarjeta de sonido es la frecuencia de muestreo. Es el número de muestras que se capturan durante un segundo. Si por ejemplo trabajamos con  $F_s = 44,1$  kHz, eso significa que cada segundo se recoge 44100 muestras de la señal presente en la entrada audio del micrófono de la tarjeta de sonido.

Los valores de la frecuencia de muestreo utilizados en esta Tesis son:

8000, 11025, 16000, 22050, 32000, 44100, 48000, 88200, 96000 y 192000 Hz.

#### 4.3.1.3- Profundidad en bits del audio

La profundidad en bits se define como el número de bits que se necesitan para representar las amplitudes de la señal.

Las tarjetas de sonido actuales tienen una profundidad de 16 y 32 bits. Cuantos más bits tengamos, más posiciones podremos representar (Tabla 4.17) y por lo tanto tenemos más precisión sobre la señal y menor ruido de cuantificación.

Numero de bits	posiciones
8 bits	$2^8 = 256$ posiciones
16 bits	$2^{16} = 65536$ posiciones
24 bits	$2^{24} = 16777216$ posiciones
32 bits (IEEE)	$2^{32} = 4294967296$ posiciones

**Tabla 4.17.:** Profundidad en bits y las posiciones que ofrecen

La profundidad es un parámetro muy importante a la hora de desarrollar un método de medición, porque es el principal factor que determina la precisión del método de medición, y

existen normas que especifican los requisitos mínimos que debe tener el método, como por ejemplo en el caso de mediciones de test compatibilidad electromagnética CEM, la norma especifica [HEN09], entre otros requisitos, que el método de medición debe presentar una sensibilidad inferior a 20dBμV cuando se usa un filtro de ancho de banda de 100 kHz. Este tema será tratado en el capítulo "Validación del método de medición"

En esta Tesis hemos desarrollado dos métodos de captura, uno utilizado 16 bits y otro utilizado 32 bits IEEE.

#### 4.3.1.4- El teorema de Nyquist

La secuencia de muestras obtenidas  $x(n)$  es una aproximación que representa la señal original de entrada  $x(t)$  en el dominio digital, y debe respetar la condición impuesta por el Teorema de Nyquist: *"la velocidad de muestreo debe ser dos veces mayor que la componente de frecuencia más alta de la señal a muestrear"*. Si no se respeta esta condición, se produce un fenómeno conocido como Solapamiento (o *aliasing en Ingles*) [LYON10]. Por ejemplo, si queremos analizar una señal de entrada que contiene varias componentes de frecuencia cuyo valor máximo es de 100 kHz, entonces la frecuencia de muestreo  $F_s$  debe ser como mínimo 200 kHz. Los componentes de frecuencia que están por encima de la frecuencia de Nyquist están "sub-muestreados", y aparecen como componentes de frecuencias más bajas. Por esta razón, en la práctica, se usa un filtro analógico de entrada al final de la etapa de muestreo, con el fin de atenuar todos los componentes de frecuencia no deseados por encima del rango de frecuencia de interés. Este filtro se denomina filtro anti-aliasing. La tarjeta de sonido incorpora este filtro.

Consideramos una señal  $x(t)$  sinusoidal continua en el dominio del tiempo

$$x(t) = \sin(2\pi f_0 t) \quad (4.1)$$

La señal  $x(t)$  tiene una frecuencia de  $f_0$  Hz

Se realiza un muestreo de la señal  $x(t)$  con frecuencia  $F_s$  ( $F_s$  muestras/segundos)

El periodo de muestreo es

$$T_s = 1 / F_s \quad (4.2)$$

Las muestras de la señal  $x(t)$  se escriben de la forma siguiente:



$$\begin{aligned}
x(0) &= \sin(2\pi f_0 \cdot 0 \cdot T_s) \\
x(1) &= \sin(2\pi f_0 \cdot 1 \cdot T_s) \\
&\dots \\
x(n) &= \sin(2\pi f_0 \cdot n \cdot T_s)
\end{aligned} \tag{4.3}$$

Como sabemos que  $\sin(\alpha) = \sin(\alpha + 2\pi m)$  se puede escribir la ecuación 4.3 como:

$$x(n) = \sin(2\pi f_0 \cdot n \cdot T_s + 2\pi m), m = kn \tag{4.4}$$

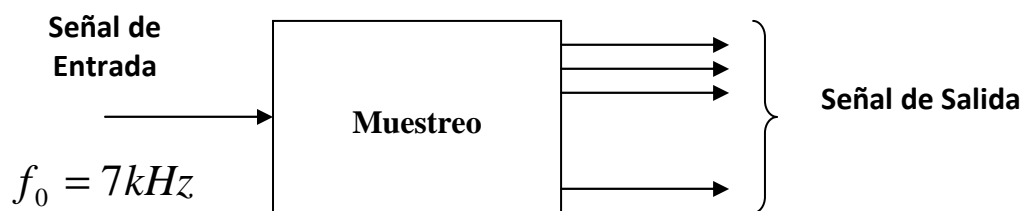
$$x(n) = \sin(2\pi f_0 n T_s) = \sin(2\pi (f_0 + k f_s) n T_s) \tag{4.5}$$

El factor  $f_0$  es igual al factor  $(f_0 + k f_s)$  en la ecuación 4.5. Esto significa que cuando se realiza un muestreo con una frecuencia de muestreo  $F_s$  muestra/segundo, no se puede distinguir entre los valores muestreados de una señal sinusoidal de frecuencia  $f_0$  Hz y otra señal de frecuencia  $(f_0 + k F_s)$  Hz donde  $k$  es un entero positivo o negativo. Esto quiere decir que con la secuencia de valores discretos obtenidos mediante el muestreo, existe un número infinito de señales sinusoidales diferentes que pueden representar la señal original [LYON10].

Esto influye en todo el proceso que viene después del muestreo, el espectro de cualquier serie discreta de valores muestreados contiene replicación periódica del espectro original. El periodo entre estas replicaciones del espectro en el dominio de frecuencia será siempre de  $F_s$ .

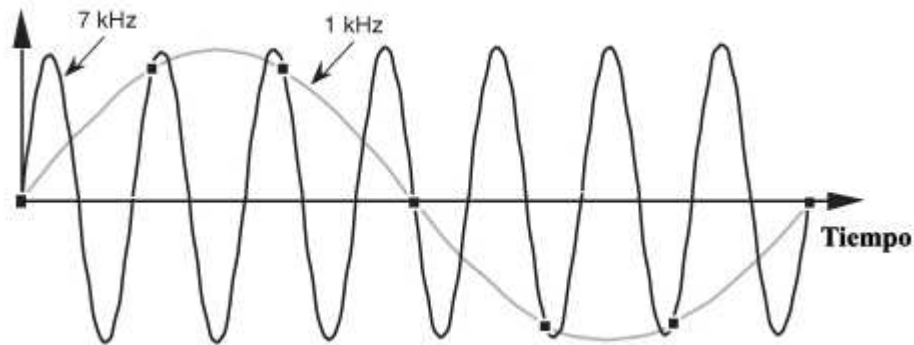
#### 4.3.1.5- Fenómeno de Solapamiento “Aliasing”

Es necesario tener en cuenta un fenómeno que se llama solapamiento de frecuencia que es debido al muestreo y puede dar resultados falsos en el momento de analizar señales proveniente del muestreo, para entender este fenómeno, vamos a poner un ejemplo real de muestreo. Vamos a considerar que se realiza el muestreo de una señal sinusoidal de frecuencia  $f_0 = 7kHz$  (Figura 4.13) con una frecuencia de muestreo de  $F_s = 6kHz$ . Se obtiene una muestra cada  $T_s = 1/6000$  segundos  $\approx 167\mu s$ .



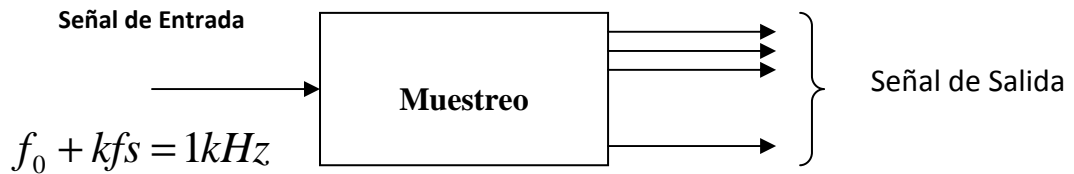
**Figura 4.13:** ilustración del proceso de muestreo de la señal sinusoidal de entrada 7kHz

Los valores muestreados se representan en la gráfica en la Figura 4.14 como punto junto con la señal original de entrada.



**Figura 4.14:** Muestreo de la señal sinusoidal de 7kHz con frecuencia de muestreo de 6kHz  
Ilustración cedida por cortesía de [LYON10]

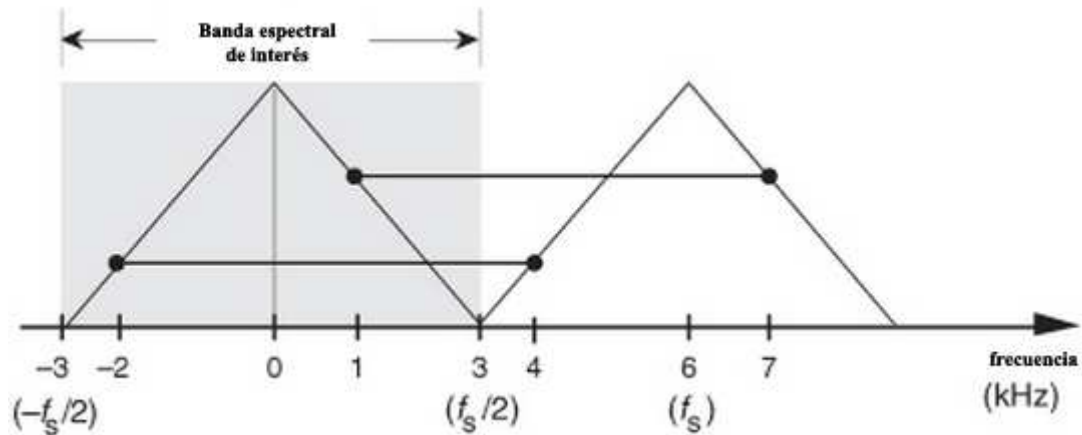
Las muestras obtenidas en la salida del proceso de muestreo no van a cambiar si, en vez de realizar el muestreo a la señal original de 7kHz, se presenta en la entrada otra señal con frecuencia de 1kHz.



**Figura 4.15:** Ilustración del proceso de muestreo de la señal sinusoidal de entrada 1kHz

El problema que se ve claramente en esta situación es que no existe un esquema de procesamiento que determina si la salida obtenida después del muestreo, que se representa en la gráfica por puntos de la Figura 4.14, viene de la señal sinusoidal de entrada con frecuencia de 7kHz o bien de la otra la señal de frecuencia de 1kHz. En el caso de aplicar en la entrada la primera señal de 7kHz, si se aplica un procesamiento digital para calcular el espectro de la señal, vamos a tener en la salida del detector una señal de frecuencia de 1kHz, mientras sabemos que no existe una señal de entrada de 1kHz, sino que tenemos una señal de 7kHz. Esta ambigüedad se debe tener en consideración en el momento de diseñar algoritmo de procesamiento digital de señales, y se conoce como fenómeno de solapamiento o bien en ingles *Aliasing*.

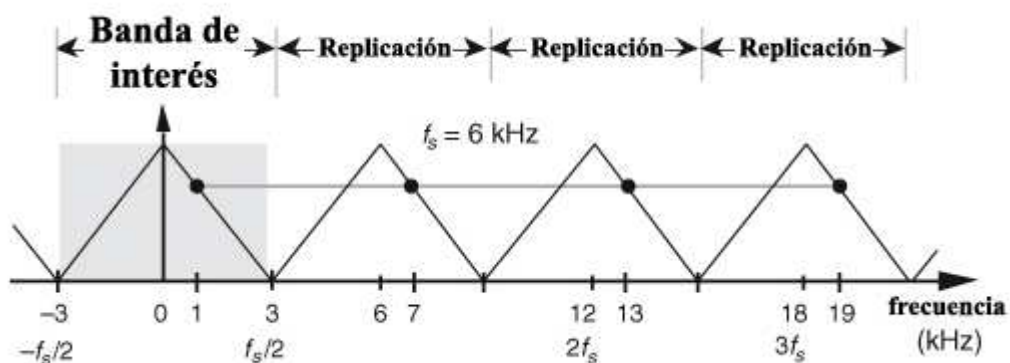
Si representamos nuestra banda espectral de interés en el rango de frecuencia de  $\pm F_s/2$  se ve que dentro de la banda de interés, detectamos la señal de 1kHz que se solapa desde la señal de 7kHz.



**Figura 4.16:** Relaciones espectrales que muestran el aliasing en las frecuencias de 7 y 4 kHz.  
Ilustración cedida por cortesía de [LYON10]

La frecuencia  $F_s/2$  es un valor muy importante en el teorema de muestreo y se denomina frecuencia crítica de Nyquist [LYON10].

Hay que tener en cuenta también que este fenómeno se presenta sobre el espectro en distintas frecuencias, en el caso del ejemplo que ponemos de la señal de entrada de 7kHz, vamos a tener ambigüedades para los valores del espectro en 1kHz, 7kHz, 13kHz, 19kHz, etc. La figura 4.17 representa estas ambigüedades.



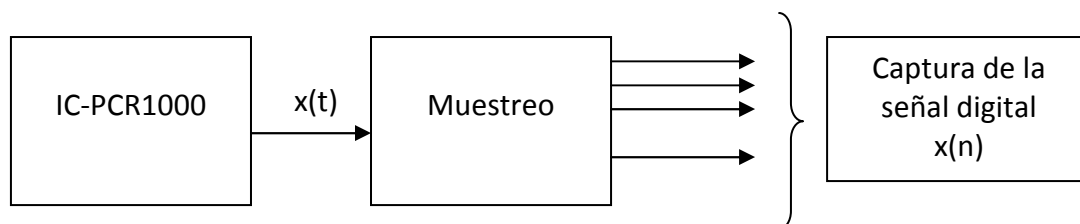
**Figura 4.17:** Aliasing de la señal 7kHz en las frecuencias de 1kHz, 13kHz y 19kHz  
Ilustración cedida por cortesía de [LYON10]

Elegir el muestreo de la señal influye en el análisis que realizamos.

### 4.3.2- Captura de la señal

#### 4.3.2.1- Introducción

En esta parte describimos las soluciones que hemos implementado para el muestreo y la captura de la señal  $x(t)$  así que los métodos de gestión de las muestras obtenidas  $x(n)$ . La Figura 4.18 representa la conexión entre el receptor IC-PCR1000 y la tarjeta de sonido que realiza la tarea del muestreo periódico de la señal de entrada  $x(t)$ . Para ello se implementa un algoritmo de programación de bajo nivel con el fin de acceder a la tarjeta de sonido, controlar la captura de la señal y gestionar los búferes que serán usados para almacenar la señal de la forma óptima sin perder datos.



**Figura 4.18:** conexión entre el receptor IC-PCR1000 y la tarjeta de sonido

#### 4.3.2.2- Captura de señales desde el IC-PCR1000

Para implementar el proceso de captura de la señal desde el receptor IC-PCR1000 usando la tarjeta de sonido del PC, se utiliza estructuras de Microsoft para datos de audio “waveform-audio”. Es un módulo para el Windows Multimedia API que contiene funciones de bajo nivel para el control del audio. Todas estas funciones están accesibles en el fichero de la cabecera “mmsystem.h”, por eso es necesario incluir la biblioteca dinámica “winmm.dll”.

En la aplicación que hemos desarrollado en nuestra Tesis, se utiliza esta biblioteca multimedia API para realizar las tareas siguientes:

- Capturar la señal audio proveniente de la entrada de micrófono de la tarjeta de sonido que a su vez, proviene de la salida del IC-PCR1000;
- Gestionar el almacenamiento de las muestras en los búferes;
- Guardar la señal capturado en formato WAV.

### 4.3.2.3- Descripción de las funciones utilizadas para realizar la tarea de muestreo y captura de la señal

Las estructuras y funciones que hemos utilizado para la tarea de captura de la señal audio son:

#### Estructuras:

- *WAVEFORMATEX*
- *WAVEHDR*

#### Funciones:

- *WaveInGetNumDevs*
- *WaveinGetDevCaps*
- *waveInOpen*
- *waveInPrepareHeader*
- *waveInAddBuffer*
- *waveInStart*
- *waveInReset*
- *waveInUnprepareHeader*
- *waveInClose*

Todo el proceso se realiza mediante funciones de un lenguaje de programación, donde, los datos de audio capturados por la tarjeta de sonido se interpretan como una secuencia de muestras  $x(n)$ , cada una de ellas siendo un valor de tipo *single* de Visual Basic [BROW99].

A Continuación se describen las funciones usadas y se muestra ejemplo de la implementación de cada función en nuestro sistema que hemos desarrollado en la Tesis.

#### 4.3.2.3.1- Estructura WAVEFORMATEX

**WAVEFORMATEX** es una estructura que permite configurar el formato de la señal a capturar desde la tarjeta de sonido, la frecuencia de muestreo de la tarjeta de sonido, la profundidad (resolución en bits/muestra) y otros parámetros.

La estructura contiene los siguientes miembros que debes ser cada uno definido:

- *wFormatTag*
- *nChannels*
- *nSamplesPerSec*

- nAvgBytesPerSec
- nBlockAlign
- wBitsPerSample
- cbSize

#### **4.3.2.3.1.a- wFormatTag**

Tipo de formato del audio. Los posibles tipos de formatos están registrados con Microsoft Corporation para muchos algoritmos de compresión, en el fichero de cabecera "Mmreg.h". Para el caso de nuestra Tesis hemos configurado este parámetro como WAVE\_FORMAT\_PCM

#### **4.3.2.3.1.b - nChannels**

Número de canales usados (2 para estéreo, y 1 para mono). En nuestra Tesis hemos configurado este parámetro a 1.

#### **4.3.2.3.1.c- nSamplesPerSec**

Frecuencia de muestreo, en muestras por segundo (hercios). En nuestra Tesis, este parámetro será modificado en tiempo de ejecución, y las frecuencia de muestreo que se han programado son: 8000, 11025, 16000, 22050, 32000, 44100, 48000, 88200, 96000, y 192000Hz.

#### **4.3.2.3.1.d- nAvgBytesPerSec**

Velocidad media requerida de transferencia de datos, en bytes por segundo, para la etiqueta de formato.

Si wFormatTag es del tipo WAVE\_FORMAT\_PCM, nAvgBytesPerSec debe ser igual al producto de nSamplesPerSec y nBlockAlign.

$$nAvgBytesPerSec = nSamplesPerSec \times nBlockAlign \quad (4.6)$$

Ejemplo: Si tenemos estéreo 16-bit con frecuencia de muestreo a 44,1 kHz tiene una velocidad media de datos de 176.400 bytes por segundo (2 canales – 2 bytes por muestra por canal – 44.100 muestras por segundo)

#### **4.3.2.3.1.e- nBlockAlign**

Es el número de bytes utilizados por una sola muestra.

$$nBlockAlign = \frac{wBitsPerSample \times nChannels}{8} \quad (4.7)$$

**Ejemplo:** Si tenemos la tasa de muestreo  $nSamplesPerSec = 44100$  muestra por segundo.

$nBlockAlign = 2$  bytes/muestra

En 1 segundo  $\rightarrow (44100 \times 2 \text{ bytes}) \rightarrow 88200$  bytes (que es  $nAvgBytesPerSec$ )

#### **4.3.2.3.1.f- wBitsPerSample**

Es la profundidad en bits del audio. En esta Tesis hemos desarrollado 2 métodos de captura, uno utilizando 16 bits y otro utilizando 32 bits IEEE.

#### **4.3.2.3.1.g - cbSize**

Tamaño en bytes de información extra que puede contener la estructura WAVEFORMATEX. En el caso de nuestra Tesis este parámetro está configurado con el valor "0".

#### **4.3.2.3.2- Estructura WAVEHDR**

Después de inicialización de la estructura WAVEFORMATEX, es necesario crear e inicializar un objeto de la estructura WAVEHDR que se utiliza para asignar el búfer de datos, definir la longitud del búfer y los datos en bits registrados.

Los contenidos de la estructura son los siguientes:

- lpData
- dwBufferLength
- dwBytesRecorded
- dwUser
- dwLoops
- dwFlags

##### **4.3.2.3.2.a- lpData**

Puntero tipo Long a la dirección del buffer del audio. Este buffer debe ser de tamaño y tipo de datos de acuerdo con el miembro  $nBlockAlign$  de la estructura WAVEFORMATEX usada para abrir el dispositivo. En esa zona de memoria deben haberse reservado, al menos, el número de bytes indicados en el parámetro  $dwBufferLength$ .

##### **4.3.2.3.2.b- dwBufferLength**

Especifica la longitud en bytes del buffer.

#### 4.3.2.3.2.c- dwBytesRecorded

Cuando la cabecera se utiliza en la entrada, este miembro especifica la cantidad de datos en el búfer. Cuando la cabecera se utiliza en la salida, este miembro especifica el número de bytes a reproducir en la búfer.

#### 4.3.2.3.2.d- dwUser

Especifica los datos del usuario.

#### 4.3.2.3.2.e- dwLoops

Especifica el número de veces para reproducir el bucle. Este miembro sólo se utiliza con búferes de salida

#### 4.3.2.3.2.f- dwFlags

Especifica información sobre el búfer. En la tabla 4.18 se muestran los valores posibles.

Valor	Descripción
WHDR_BEGINLOOP	Se utiliza este indicador cuando el buffer debe ser colocado durante la reproducción. Si se establece este indicador, hay que establecer WHDR_ENDLOOP. Este indicador se utiliza solo con buffer de salida
WHDR_DONE	Fijado por el controlador del dispositivo para indicar que ha terminado con el buffer y que lo esta devolviendo a la aplicación
WHDR_ENDLOOP	Se utiliza este indicador cuando el buffer debe ser colocado durante la reproducción. Si se establece este indicador, hay que establecer WHDR_BEGINLOOP. Este indicador se utiliza solo con buffer de salida
WHDR_INQUEUE	Fijado por Windows para indicar que el buffer está en cola para su reproducción.
WHDR_PREPARED	Fijado por Windows para indicar que el buffer se ha preparado con la función "waveInPrepareHeader" o "waveOutPrepareHeader"

Tabla 4.18: los valores posibles de dwFlags de la estructura WAVEHDR

#### 4.3.2.3.3 - WaveInGetNumDevs

Esta función devuelve el número de dispositivos audio-waveform disponible en el sistema. El valor 0 implica que no hay dispositivos disponibles o bien que ha ocurrido un error.

#### 4.3.2.3.4 - WaveInGetDevCaps

Esta función recupera las características de un determinado dispositivo audio de entrada. En nuestra Tesis utilizamos esta función después de *WaveInGetNumDevs* para mostrar el nombre y identificador de la tarjeta de sonido disponible en el ordenador.



Los parámetros de esta función son:

- uDeviceID: identificador del dispositivo de salida
  - pwic: puntero a la estructura WAVEINCAPS
  - cbwic: ser llenado con información acerca de las características del dispositivo.
- Tamaño, en bytes, de la estructura WAVEINCAPS

#### 4.3.2.3.5- waveInOpen

Esta función permite seleccionar un dispositivo de grabación del PC y lo abre para permitir comenzar a usarlo. Es la primera función que debe ser llamada antes de realizar cualquier otra operación de captura.

La función waveInOpen() devolverá un código de error si no se puede abrir el dispositivo.

La función waveInOpen() necesita los parámetros que se representa en la tabla 4.19.

phwi	Puntero a un bufer que recibe datos para identificar dispositivo audio abierto. Es de tipo HWAVEIN
uDeviceID	Identificador del dispositivo a abrir
pwfx	Puntero a la estructura de tipo WAVEFORMATEX previamente definida que contiene la configuración del dispositivo (la frecuencia de muestreo de la tarjeta de sonido, la profundidad, etc.)
dwCallback	Dirección de una función que será llamada cuando se haya leído un buffer, utilizando un molde (DWORD).
dwCallbackInstance	Esta función no se utiliza , se pone a "NULL"
fdwOpen	Indicadores para la apertura del dispositivo audio abierto.

**Tabla 4.19:** Parámetros de la función waveInOpen

#### 4.3.2.3.6- waveInPrepareHeader

Una vez abierto correctamente el dispositivo utilizando la función waveInOpen, se debe preparar una búfer para recibir los datos del dispositivo.

Los parámetros de la función waveInPrepareHeader se representan en la tabla 4.20.

hwi	identificador de tipo HWAVEIN con los datos del buffer
pwh	Puntero a la estructura previamente definida WAVEHDR que identifica el bufer que debe ser preparado
cbwh	tamaño en bytes de la estructura WAVEHDR

**Tabla 4.20:** Parámetros de la función waveInPrepareHeader

#### **4.3.2.3.7- waveInAddBuffer**

Esta función se usa para mandar el búfer al dispositivo, e inmediatamente, éste comenzará a grabar datos llenando el búfer pasado. Cuando el dispositivo haya terminado de llenar el buffer con muestras de la señal capturada, se mandará una notificación a la aplicación para indicar que el búfer está lleno.

A esta función se le pasa tres parámetros: el identificador hwi, el puntero a la estructura del búfer preparada anteriormente y el tamaño de la misma.

#### **4.3.2.3.8 - waveInStart**

El dispositivo abierto para la adquisición de datos empieza la captura de datos desde la tarjeta de sonido. Dicha adquisición comienza, pero no se transfiere al buffer, hasta que se indica la función waveInAddBuffer().

Para eso, el dispositivo debe haber recibido algún búfer de captura preparado con la función waveInPrepareHeader.

En el caso de no recibir nuevos búfer de captura, el dispositivo sigue capturando, aunque sin almacenar lo capturado en caso de no tener búferes, hasta que se le notifique que se debe parar.

#### **4.3.2.3.9- waveInReset**

Pone el tiempo de grabación a cero. Además devuelve instantáneamente los búferes que estén siendo usados para capturar a la aplicación.

#### **4.3.2.3.10 - waveInUnprepareHeader**

Limpia la estructura de almacenamiento de audio usada por el dispositivo. Debe ser llamada por cada búfer que usemos una vez vayan a dejar de usarse los búferes al finalizar la grabación.

#### **4.3.2.3.11- waveInClose**

Una vez se haya terminado de utilizar el dispositivo de captura debe cerrarse para poder ser utilizado por otras aplicaciones y liberar recursos.

#### **4.3.2.4- Métodos de Captura de datos usados**

##### **4.3.2.4.1- Introducción**

En esta parte se realiza un análisis de las diferentes formas posibles para la gestión de las muestras capturadas utilizando la tarjeta de sonido, pudiéndose utilizar varias implementaciones para capturar la señal utilizando la tarjeta de sonido. Durante nuestra participación en el congreso organizado por Agilent [ADS12], se han presentado unas técnicas avanzadas conocidas como SAR “modo de adquisición simultanea de búferes múltiples y lectura de salida” para mejorar la precisión del método de captura sin perder información, usadas especialmente en el caso de la medición de señales que puedan aparecer en un tiempo muy corto, como por ejemplo los pulsos.

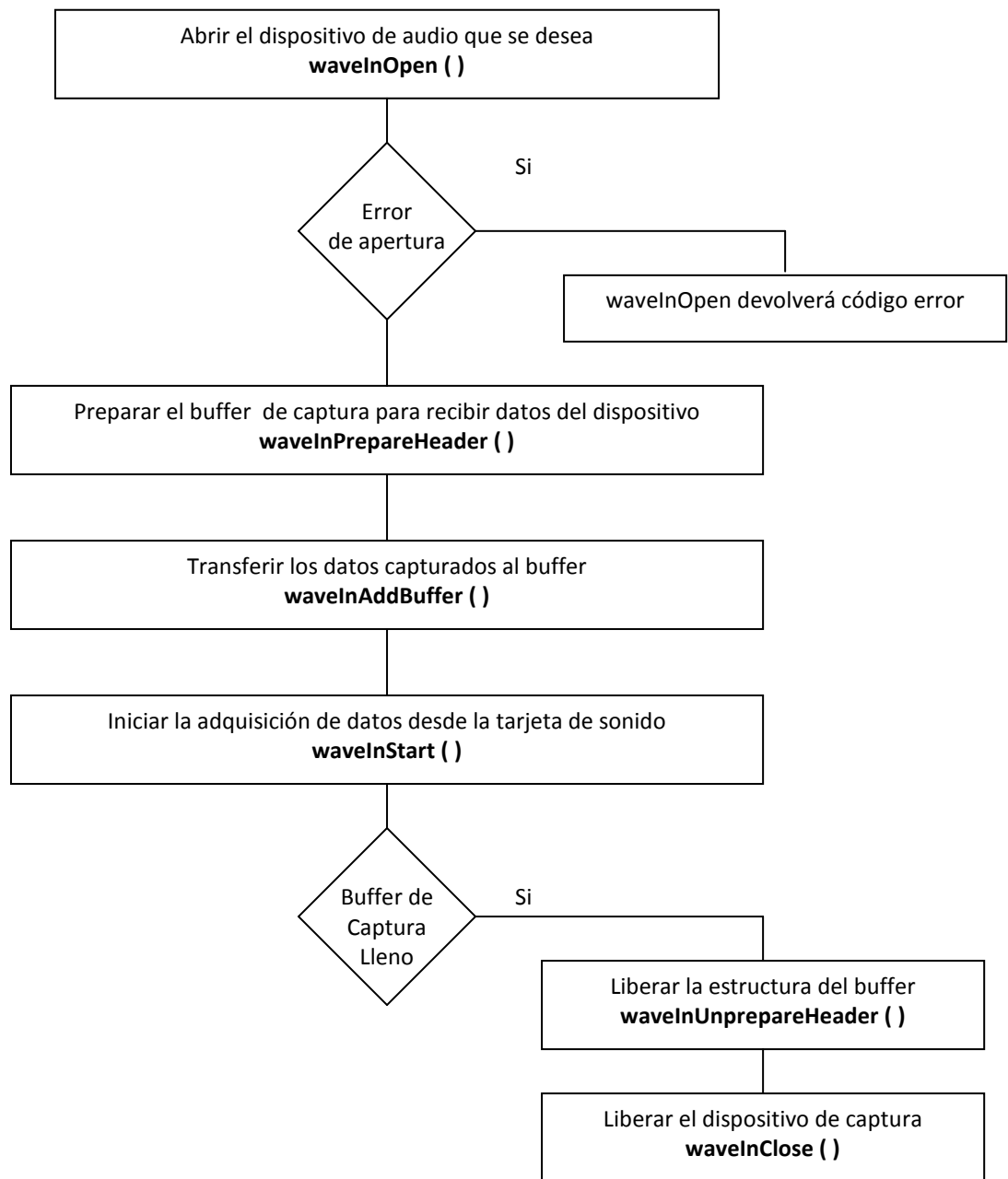
En nuestra aplicación de Tesis hemos ido probando varios tipos de los métodos, y analizando las ventajas/inconvenientes de cada uno, tanto en termino coste de procesamiento, pérdida de datos, dificultad de implementación teniendo en cuenta su viabilidad para la aplicación de nuestra Tesis.

A continuación se presenta el concepto de cada método, se hace un resumen de las ventajas y limitaciones de cada uno, y finalmente justificamos la solución definitiva implementada para esta Tesis.

##### **4.3.2.4.2- Método 1: captura básica**

En la Figura 4.20 se presenta el método básico de captura de señal desde la tarjeta de sonido. Este método de fácil implementación, pero presenta algunas limitaciones. Como se puede observar en el diagrama, cuando el buffer de captura se llena con los datos capturados, será devuelto a la aplicación y la captura se finaliza. Esto es una limitación para la aplicación, que en este caso va depender del tamaño del buffer.

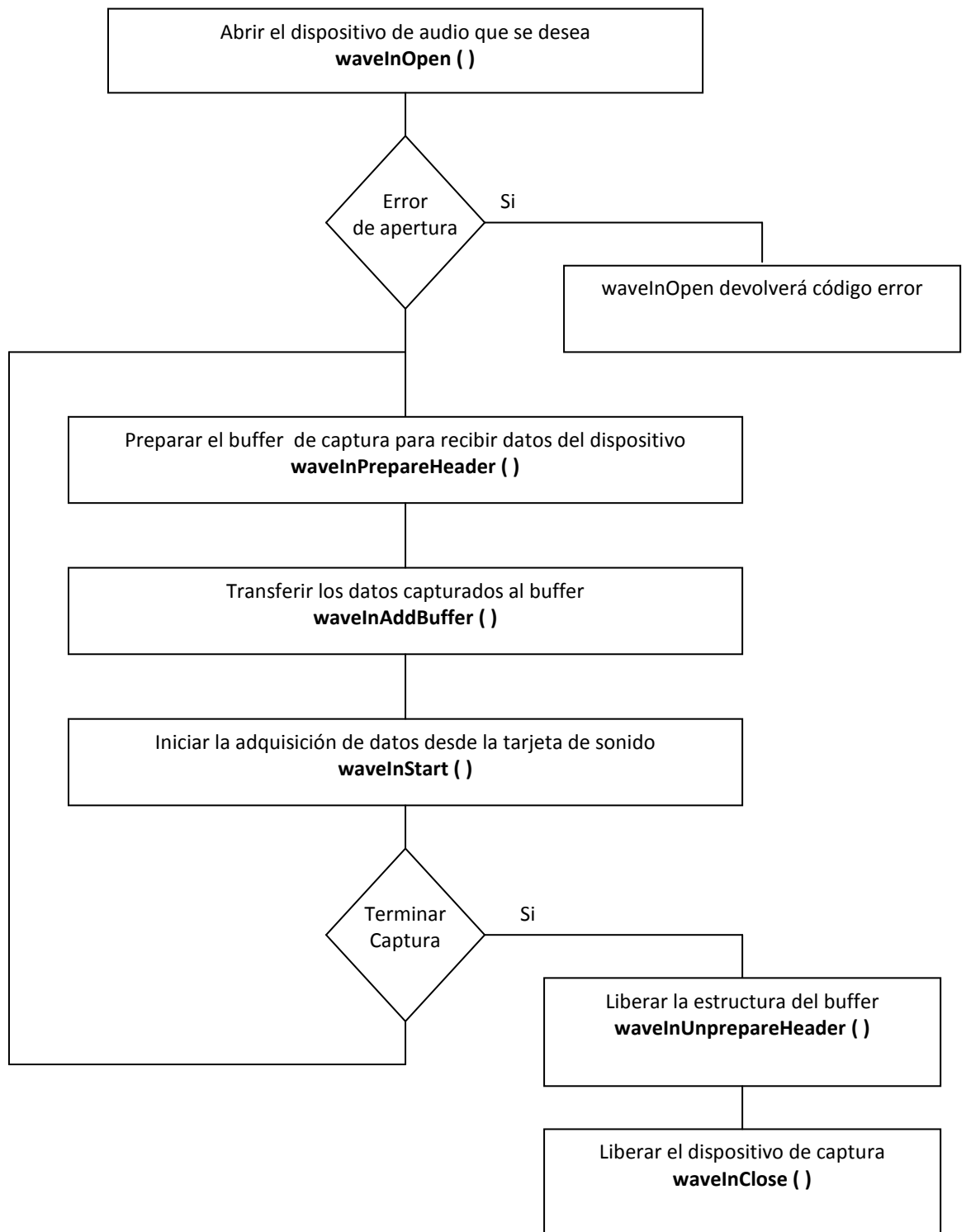
Este método básico no se adapta a las necesidades de la aplicación que desarrollamos.



**Figura 4.20:** Diagrama de flujo: primera implementación del método 1 de captura básica

#### 4.3.2.4.3 - Método 2: Bucle de captura

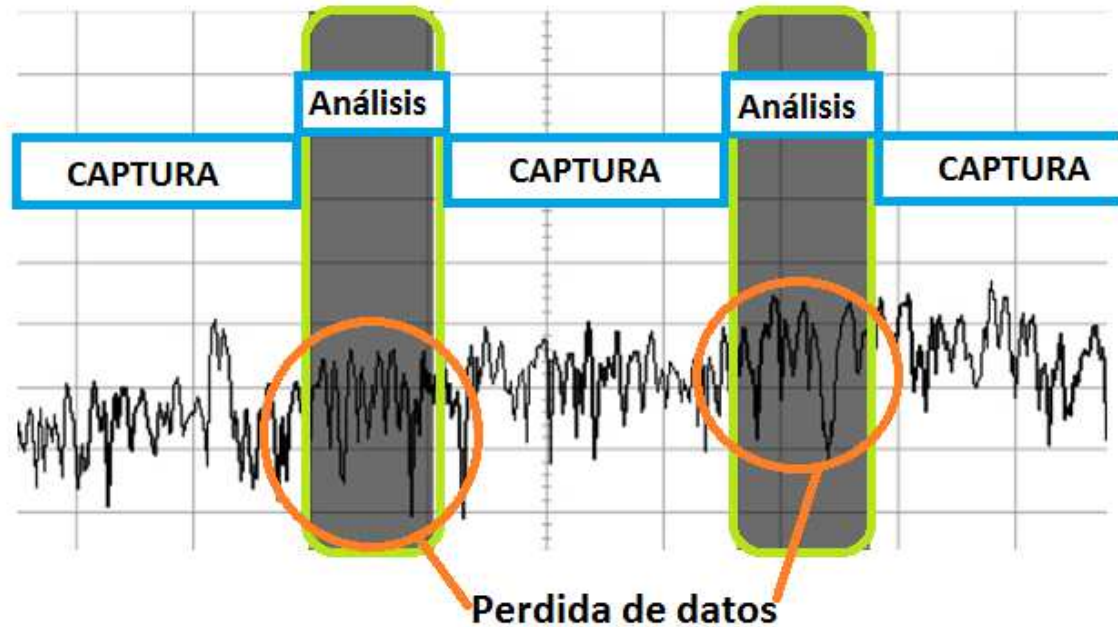
Como remedio a la limitación del método básico, se crea un bucle de captura usando las funciones *waveInPrepareHeader()*, *waveInStart()*, y *waveInAddBuffer()*.



**Figura 4.21:** Diagrama de flujo: segunda implementación del método de captura en formato bucle

En el caso del método descrito en la Figura 4.21, después de tener un búfer completo, volvemos a capturar otro búfer en seguida. Pero es necesario realizar un procesamiento al búfer anterior. Esto supone una gran limitación, porque en el momento de realizar el

procesamiento, no estamos capturando, por lo que durante ese tiempo perdemos información (Figura 4.22). Las zonas representadas con color oscuro representan zona negras, en las que tenemos pérdida de información de la señal.

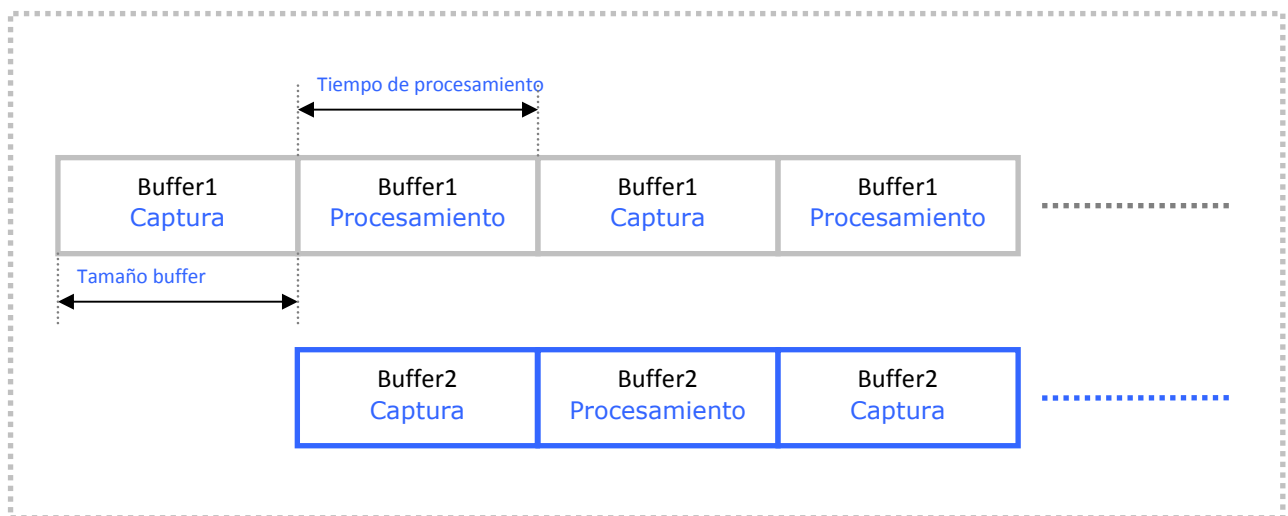


**Figura 4.22:** Representación de la limitación del proceso de captura en caso de un unico buffer

#### **4.3.2.4.4- Método 3. Captura en continuo con doble búfer**

El objetivo que queremos alcanzar es no tener pérdida ninguna sobre la señal que vamos a adquirir usando la tarjeta de sonido.

Es necesario poder implementar un sistema que permite realizar un procesamiento paralelo al proceso de muestreo. Mientras estamos capturando datos por la tarjeta de sonido, se realiza el procesamiento de la señal en paralelo, de forma que nunca se para la captura. Eso es posible usando la técnica de captura de doble búfer. Ésta va ser la solución definitiva implementada en nuestra Tesis. La técnica de doble búfer, consistente en utilizar dos búferes con el fin de conseguir un proceso de captura de forma continua sin pérdida de datos. Mientras un búfer está capturando datos, de manera paralela, se realiza el procesamiento del otro búfer capturado anteriormente. La Figura 4.23 describe este proceso.

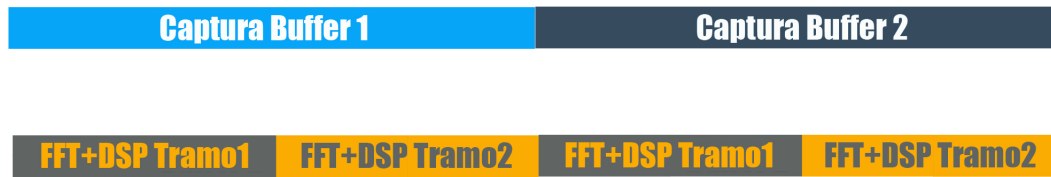


**Figura 4.23:** Proceso de captura utilizando tecnica de doble bufers

El tiempo de la etapa de procesamiento incluirá el cálculo de la Transformada Discreta de Fourier DFT, el enventanado, el promediado, el resto de técnicas DSP así como el trazado de la curva en una gráfica (toda la parte de procesamiento será tratada en el párrafo 4.4: estimación del espectro y procesamiento digital de la señal). Este tiempo debe ser inferior al tiempo que tarda el búfer en llenarse con las muestras. Si no se respeta esta condición, se puede perder parte de la información cuando el dispositivo está esperando un nuevo búfer, y si en este momento aparece alguna señal, nuestro método de medida y análisis no será capaz de detectar esta señal. Para superar este problema, una posible solución sería usar más búferes si la implementación del sistema lo permite, o reducir algunas de las operaciones de la etapa de procesamiento.

El tamaño del búfer debe ser un múltiplo entero del tamaño de cada muestra (por ejemplo si trabajamos con 16 bits de tamaño por muestra, podemos tomar un búfer de  $N_{DFT} \times 2 \times 16$  bits).

En la Figura 4.23 representamos el proceso de la técnica de doble búfer, representada en dos líneas donde se ve que en la primera hay captura del búfer 1, procesamiento del búfer 1, captura del búfer 1, procesamiento del búfer 1, etc. En la implementación real, lo que tenemos es dos hilos de programación que se ejecutan en paralelo. Como se puede apreciar en la Figura 4.24, hay una tarea que se encarga de captura y otra abajo que se encarga de procesamiento.

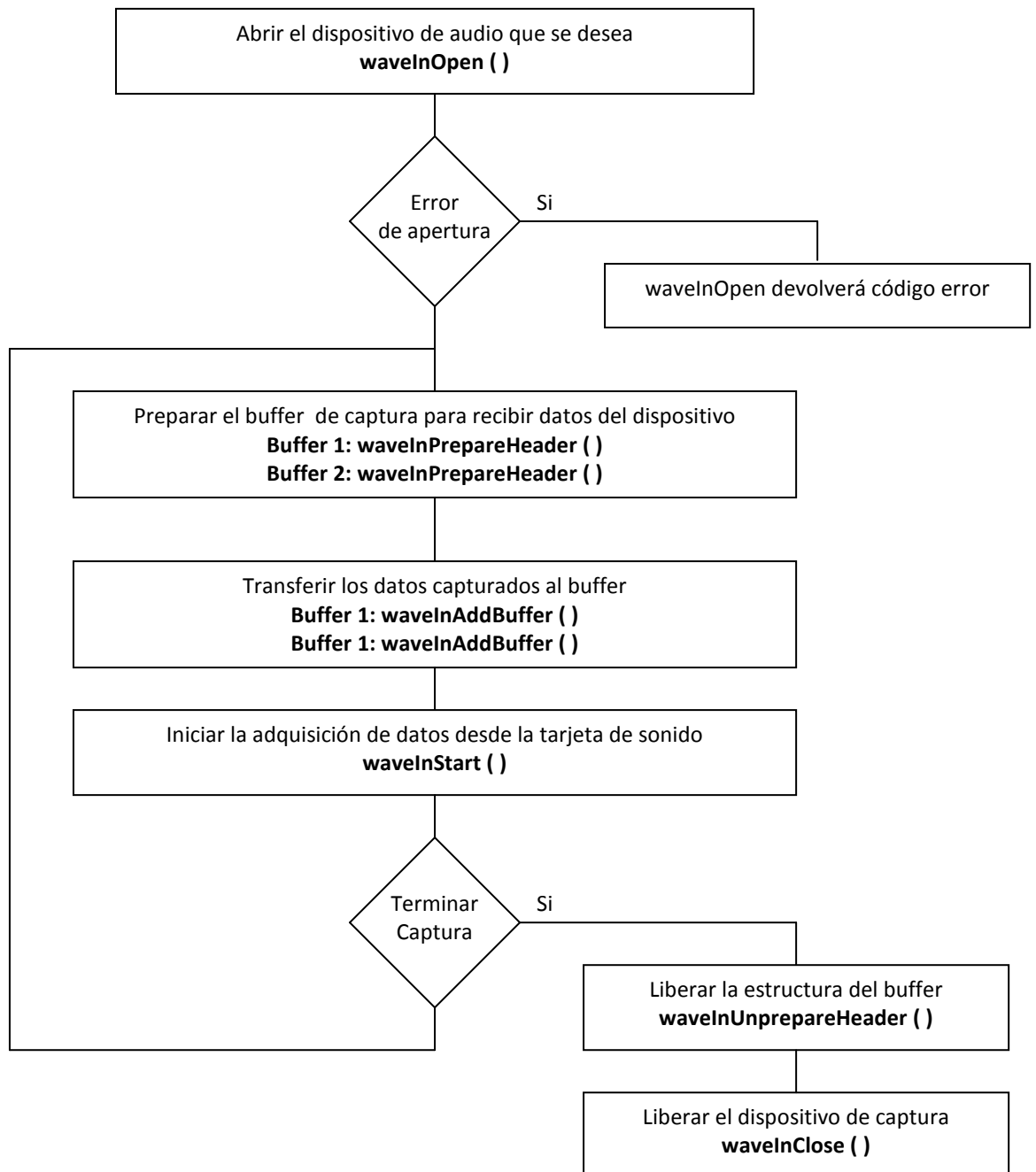


**Figura 4.24:** Protocolo de proceso de captura utilizado en la Tesis

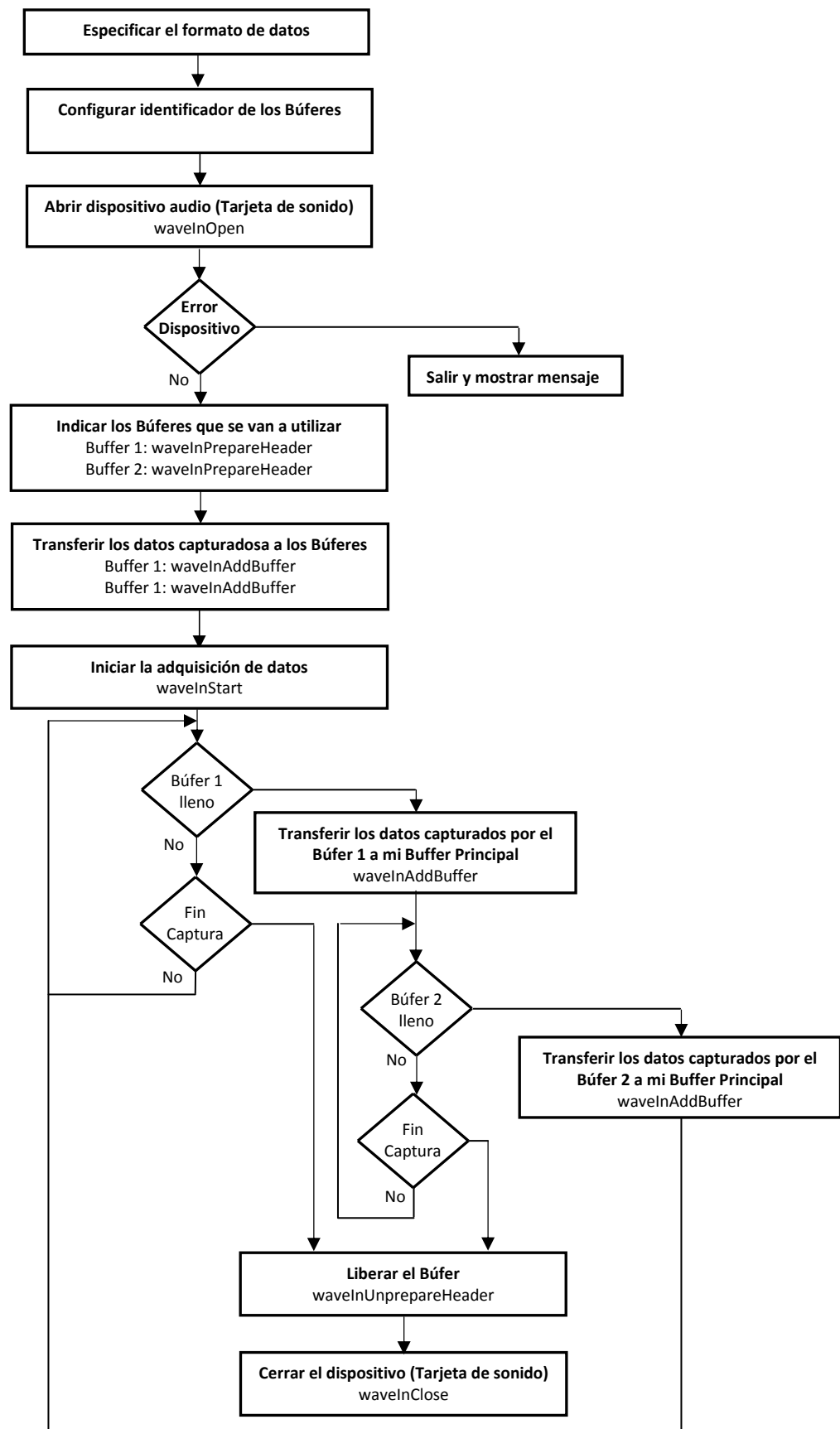
A nivel de implementación la captura a doble búfer se consigue de la siguiente manera: cuando empezamos a capturar tras la llamada a la función "*waveInStart*", en el momento en que terminamos de llenar el primer búfer, inmediatamente pasamos a la aplicación otro búfer distinto para que la captura siga realizando sin pararse, véase la Figura 4.25. Se realizan llamadas a las funciones "*waveInPrepareHeader*" y "*waveInAddBuffer*" para cada búfer. Es necesario realizar una realimentación en la cola de los búferes. Cuando la aplicación sea notificada de la llegada del primer búfer lleno, lo procesamos, e inmediatamente, lo volvemos a poner en la cola de búferes y así para todos los búferes, de esta forma se consigue una forma continua de captura de señal sin pérdida de datos.

Durante la fase de investigación relacionada con esta parte, se realizaron varias pruebas utilizando 3, 4 hasta 5 búferes, y hemos comprobado que no es necesario para el tipo de señales que vamos a analizar utilizar más de dos búferes. Por eso la solución definitiva implementada en esta Tesis consiste en el uso de la técnica de captura con dos búferes. En la figura 4.25, se representa la primera implementación probada, y en la figura 4.26 se representa el diagrama de flujo de la implementación mejorada utilizada en esta Tesis.





**Figura 4.25:** Diagrama de flujo del protocolo de proceso de captura con doble búferes



**Figura 4.26:** Diagrama de flujo del protocolo de proceso de captura de doble búferes mejorado utilizado en la Tesis

## 4.4- ESTIMACIÓN DEL ESPECTRO Y PROCESAMIENTO DIGITAL DE LA SEÑAL

### 4.4.1- Introducción

Después de realizar el muestreo y captura de la señal utilizando la tarjeta de sonido, obtenemos una secuencia de muestras (serie de señales digitales). A continuación utilizamos la notación  $x(n)$  que corresponde a muestras en el dominio de tiempo.

Para convertir esta señal al dominio de frecuencia se utiliza la transformada Discreta de Fourier, a continuación utilizamos la abreviación DFT, del inglés “Discret Fourier Transform”, que es la secuencia Discreta en el dominio de frecuencia, definida por la Ecuación 4.8.

$$X(m) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-2\pi jnm / N} \quad (4.8)$$

Donde:

$X(m)$ : Secuencia de muestras de la salida DFT:  $X(0), X(1), X(2), \dots, X(m)$

$m$ : índice de la salida DFT en el dominio de frecuencia,  $m=0,1,2,\dots,N-1$

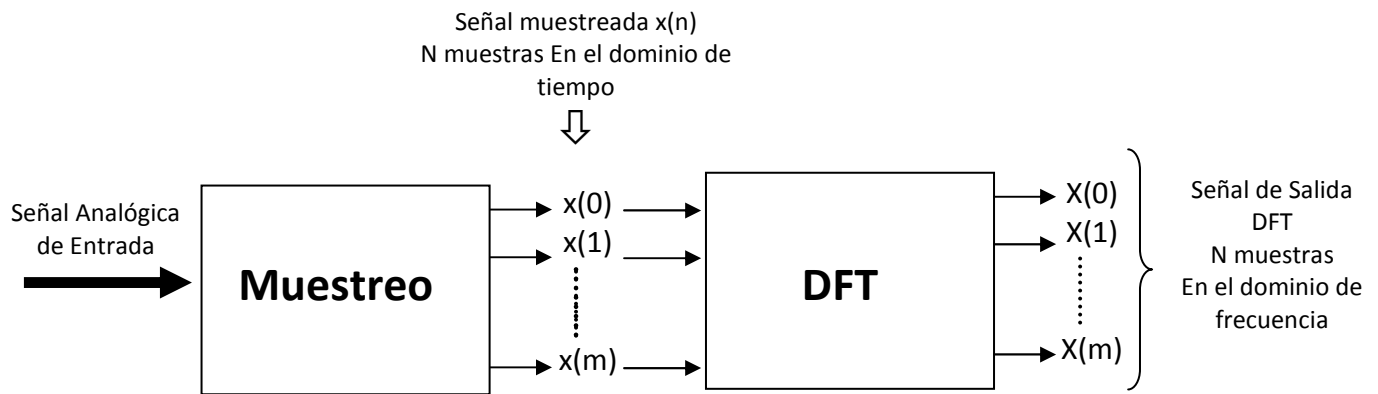
$x(n)$ : secuencia de muestras de entrada  $x(0), x(1), x(2), \dots, x(n)$

$n$ : índice de la entrada de señal en el dominio de tiempo

$N$ : numero de muestras de la secuencia de entrada, determinado por el número de puntos de la DFT

La ecuación 4.8 significa que utilizando  $N$  muestras de entrada en el dominio de tiempo, la transformada Discreta de Fourier (DFT) determina el contenido espectral de estas  $N$  muestras de entrada y el resultado es una secuencia de  $N$  puntos de frecuencia (ver Figura 4.27).

El valor de  $N$  es un parámetro muy importante, porque determina cuantas muestras van a ser utilizadas, la resolución del resultado en el dominio de frecuencia y el tiempo necesario de procesamiento para el cálculo de la DFT.



**Figura 4.27:** Proceso de muestreo y DFT

Cada muestra de la secuencia de salida se calcula realizando la suma punto-punto de todas las N muestras de la secuencia de entrada multiplicadas por una señal sinusoidal compleja de la forma  $\cos(\phi) - j \sin(\phi)$ . La frecuencia de cada señal sinusoidal depende de la velocidad de muestreo  $F_s$  utilizada para obtener las muestras de entrada, y el número de muestras N.

$$f_{\text{análisis}}(m) = \frac{m f_s}{N}, m = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (4.9)$$

La ecuación 4.9 el resultado de la transformada Discreta de Fourier (DFT) nos va indicar qué amplitud de señal existe en  $x(n)$  en las frecuencias calculadas del análisis, y son múltiplos de la frecuencia de análisis fundamental.

### Ejemplo

Señal que contiene una componente de frecuencia de 1 kHz

$F_s = 8000$  muestra/segundo

$N = 8$

Se realizan 8 bucles para el cálculo de la DFT

En la primera suma ( $m=0$ ), la DFT busca los componentes de frecuencia  $m F_s / N = 0 \cdot F_s / N = 0 \text{ Hz}$

En la segunda suma ( $m=1$ ), la DFT busca los componentes de frecuencia  $m F_s / N = 1 \cdot F_s / N = 1 \text{ kHz}$

Y así hasta llegar a  $m=7$ .

Es como un tipo de barrido en el que en cada iteración la DFT busca los componentes frecuenciales de una frecuencia determinada que se calcula mediante la ecuación 4.9.

Para una frecuencia entre 1 kHz y 2 kHz se va detectar o bien como 1 kHz o bien como 2 kHz

#### 4.4.2- Transformada Rápida de Fourier (FFT)

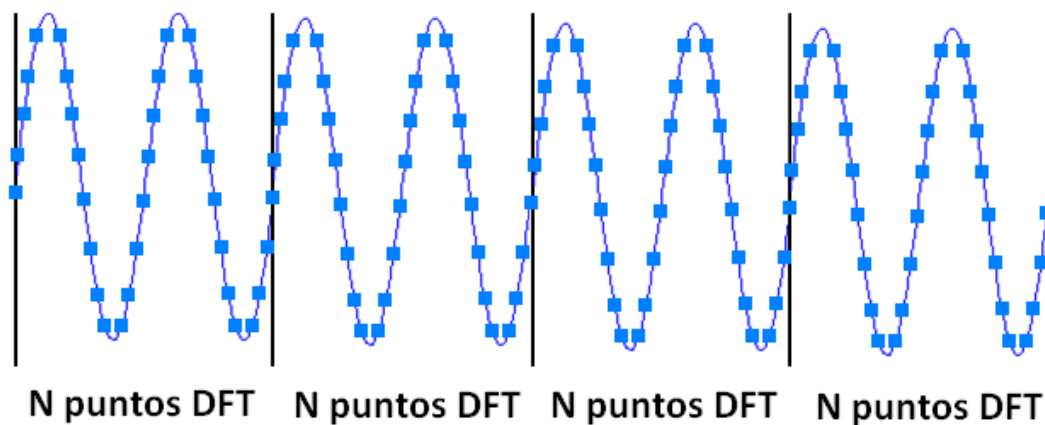
Para implementar la DFT se pueden utilizar varios métodos [ROBI 82], la Transformada Rápida de Fourier (FFT) es el método el más famoso para el cálculo de la transformada Discreta de Fourier (DFT). La FFT produce el mismo resultado que otros métodos con mucha más eficiencia a nivel de reducción del tiempo de cálculo.

El algoritmo de la FFT más conocido es el de Cooley-Tukey [COOL et alii 65], llamándose también algoritmo de reducción de base 2 en el dominio temporal. Este algoritmo requiere un número de muestras que será una potencia de 2.

En nuestra Tesis hemos implementado este algoritmo con posibilidad de cambiar en tiempo real los siguientes parámetros  $N=256, 512, 1024, 2048, 4096$ , y  $8192$ .

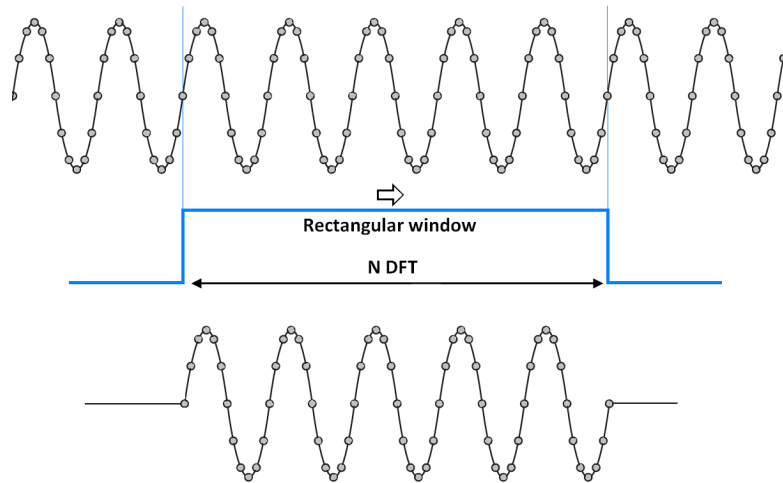
#### 4.4.3- Efecto de *Leakage*

Como explicado, el proceso de la DFT consiste en tomar  $N$  muestras de la señal temporal y realizar los cálculos mediante algoritmo FFT y producir  $N$  muestras de la señal en el dominio de frecuencia. Este proceso se realiza continuamente como se puede ver en la figura 4.28.



**Figura 4.28:** Proceso periodico de calculo de DFT

Como estamos tomando un número finito de puntos de manera periódica, esta situación es similar a la multiplicación de la secuencia de entrada muestreada por una ventana rectangular de valor 1 como se puede ver en la figura 4.29.

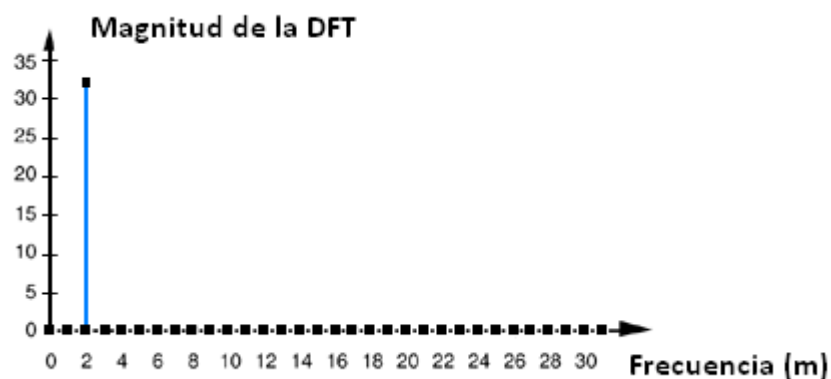


**Figura 4.29:** Representación del proceso de tomar un número finito de puntos que es similar a la multiplicación de la secuencia de entrada muestreada por una ventana rectangular

La transformada Discreta de Fourier (DFT) solo produce resultados correctos cuando la secuencia de datos de entrada contiene energía precisamente en las frecuencias de análisis (Ecuación 4.9) en los múltiplos enteros de la frecuencia fundamental  $F_s/N$ .

En este caso que representamos por la gráfica de la Figura 4.28, tenemos exactamente 2 ciclos/periodo de cálculo de la DFT.

En la Figura 4.30 se representa la magnitud de la DFT en función de las muestras en el dominio de frecuencia. Por la propiedad de simetría de la DFT, sólo se representa la mitad de los puntos DFT.

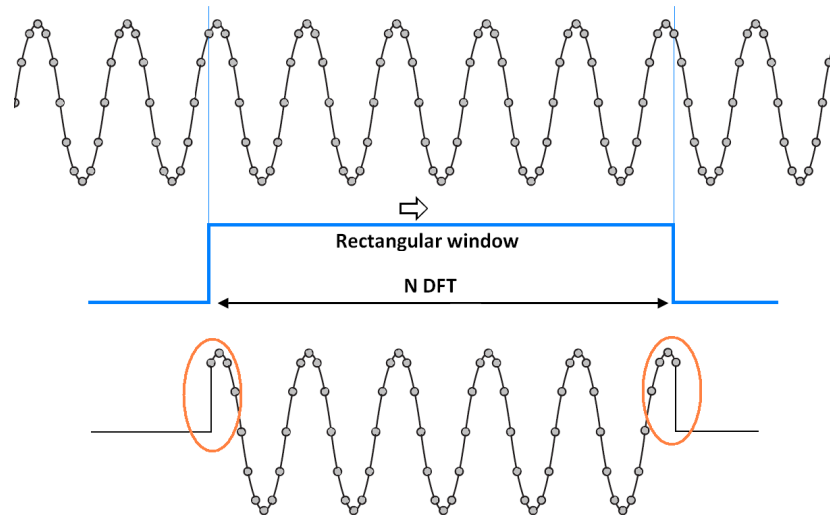


**Figura 4.30:** Magnitud de la DFT en función de las muestras en el dominio de frecuencia  
Ilustración cedida por cortesía de [LYON10]

Como se puede apreciar en la Figura 4.30, solo aparece la componente espectral en la frecuencia  $m=2$ .

La gráfica que se muestra en la Figura 4.29 es sólo una representación perfecta producida a mano de la señal sinusoidal que en la realidad puede no estar sincronizada con el periodo de

captura de la misma forma que se muestra en Figura 4.29, porque el tamaño de la DFT fue elegido para encajar exactamente un número entero de ciclos (en este ejemplo 5 ciclos). Esta situación es difícil de producirse en la adquisición de la señal en tiempo real, (por ejemplo si queremos medir una señal sinusoidal de frecuencia 1.6 kHz, tomando 512 muestras a una velocidad de 8kHz por segundo, tenemos que tratar 102.4 ciclo por cada bucle). La Figura 4.31 representa una aproximación de lo que estamos tomando en la situación real.



**Figura 4.31:** Representación del efecto *Leakage* causado por la ventana rectangular

Para entender eso, vamos a considerar el ejemplo de capturar una señal que contiene componente de frecuencia de 10 kHz utilizando la tasa muestreo de 44100 Hz.

Suponemos que el tamaño de la FFT utilizado es de 1024.

Para obtener 1024 muestras tardamos 0.02321 segundos.

El periodo de la señal original es  $1/10000 = 0.0001$  segundo que es la duración de 1 ciclo.

Entonces en el periodo  $N=1024$  vamos a tener 232,199 ciclos que no es un número entero.

Además para el caso de ciclo no entero que se ha mencionado antes, tenemos discontinuidad al principio y al final de la ventana rectangular. Estos dos factores pueden causar el efecto de *leakage*.

Por la culpa del fenómeno "*leakage*" el resultado de la DFT será solamente una aproximación del verdadero espectro de las señal original de entrada muestreado. Existen técnicas de minimizar el leakage, pero no se puede eliminar totalmente [LYON10].

#### 4.4.4- Enventanado

##### 4.4.4.1- Introducción

Con el fin de reducir el efecto de *leakage*, usamos la técnica del enventanado que consiste en multiplicar la secuencia de entrada  $x(n)$  por una función ventana, a continuación utilizamos la abreviación  $w(n)$  antes de que se realice la DFT (Ecuación 4.10).

$$X_w(m) = \sum_{n=0}^{N-1} w(n).x(n)e^{-j2\pi mn/N} \quad (4.10)$$

A continuación se presentan las ventanas utilizadas y implementadas en el sistema de medición que desarrollamos en esta Tesis.

##### 4.4.4.2- Ventana rectangular

Por defecto al realizar la Transformada de Fourier Digital (DFT) en un número de muestras finito, esto es como multiplicar la señal por una ventana cuadrada (Figura 4.29).

$$\begin{aligned} w(n) &= 1 \\ \text{para } n &= 0, 1, 2, \dots, N-1 \end{aligned} \quad (4.11)$$

##### 4.4.4.3- Ventana triangular

$$w = \begin{cases} \frac{n}{N/2} & \text{para } n = 0, 1, 2, \dots, N/2 \\ 2 - \frac{n}{N/2} & \text{para } n = N/2 + 1, N/2 + 2, \dots, N-1 \end{cases} \quad (4.12)$$

##### 4.4.4.4- Ventana Hanning

$$\begin{aligned} w(n) &= 0.5 - 0.5 \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) \\ \text{para } n &= 0, 1, 2, \dots, N-1 \end{aligned} \quad (4.13)$$



#### 4.4.4.5- Ventana Hamming

$$w(n) = 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) \quad (4.14)$$

*para*  $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$

#### 4.4.4.6- Ventana Blackman

$$w(n) = 0.42 - 0.5 \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) + 0.08 \cos\left(\frac{4\pi n}{N}\right) \quad (4.15)$$

*para*  $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$

#### 4.4.4.7- Ventana Blackman-Harris

$$w(n) = 0.36 - 0.49 \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) + 0.14 \cos\left(\frac{4\pi n}{N}\right) - 0.01 \cos\left(\frac{6\pi n}{N}\right) \quad (4.16)$$

*para*  $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$

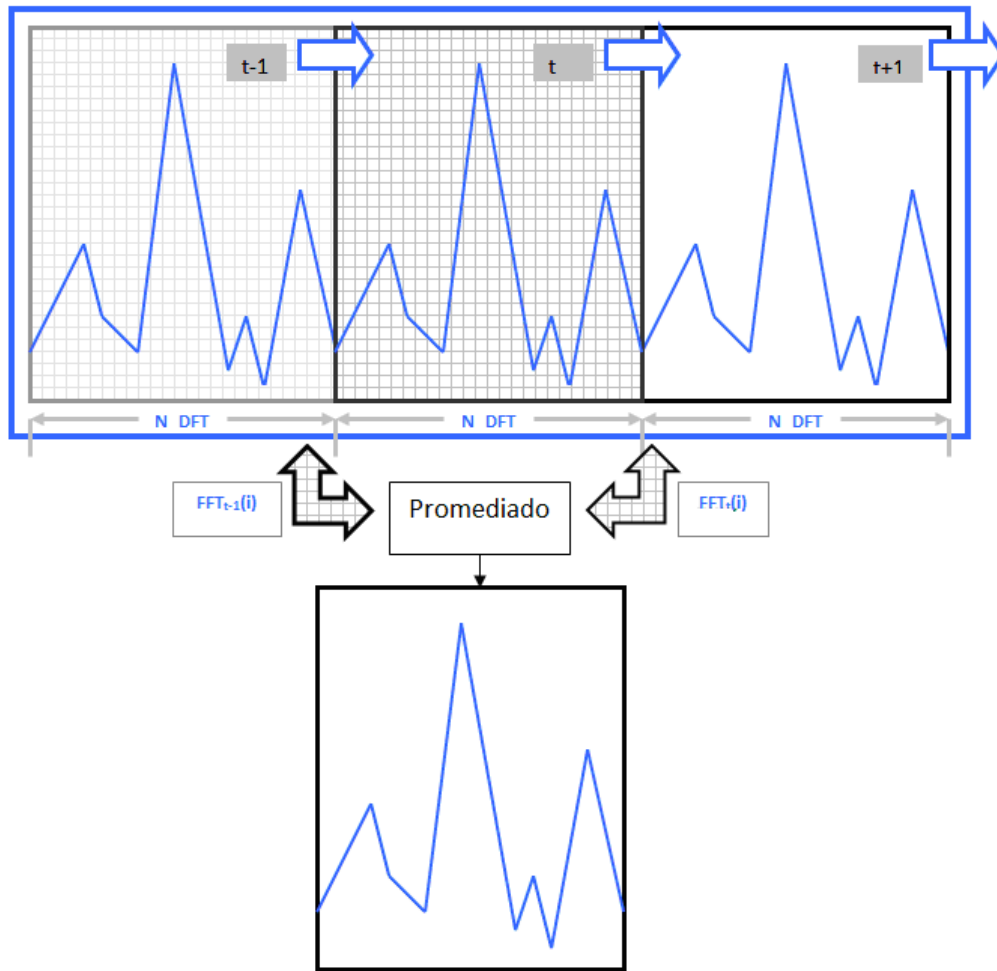
### 4.4.5- Técnicas para reducir el efecto de ruido

Poder medir e identificar una señal no es una tarea fácil, porque existen casos en los que la señal de interés aparece durante un tiempo muy corto, y es muy difícil de detectar, además, se presentan perturbaciones aleatorias no deseadas que contaminan toda la banda de medición y no podemos sacar nuestra señal de interés. Estas perturbaciones son debidas al conjunto de elementos que forman parte del sistema de medición, y también a las propias señales que pretendemos medir. Estas perturbaciones son llamadas “ruido”

En esta parte se presentan las técnicas de procesamiento digital de señales implementadas en esta Tesis para minimizar este tipo de ruido y poder sacar una señal de interés metida dentro del ruido. Presentamos los métodos de promediado que hemos utilizado, explicamos cómo se implementan algunos de estos métodos, poniendo ejemplos que demuestran el efecto que produce cada tipo de promediado sobre las medidas que realizamos, así que explicamos en qué caso se debe aplicar una técnica u otra.

#### 4.4.5.1- Promediado

En el mundo del tratamiento digital de señales, se utilizan las técnicas estadísticas de promediado (Figura 4.32).



**Figura 4.32:** Representación del proceso de promediado

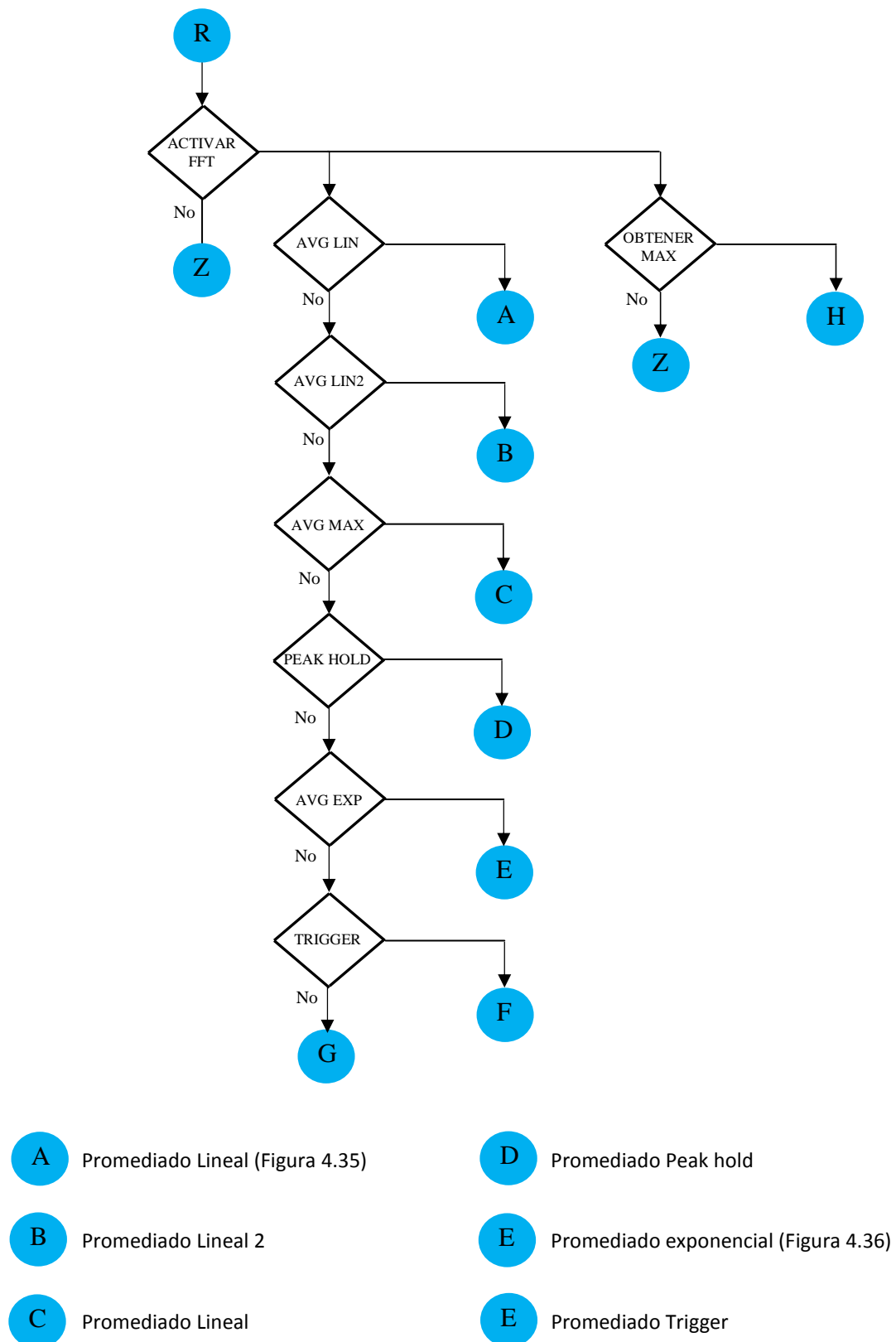
Matemáticamente, el promediado de N muestras de la secuencia  $x(n)$ , esta expresado por la Ecuación 4.17.

$$AVG = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x(n) = \frac{x(1) + x(2) + x(3) + \dots + x(N)}{N} \quad (4.17)$$

En esta Tesis hemos implementado 6 tipos de promediado diferentes que son:

- Promediado lineal
- promediado exponencial
- Promediado tipo máximo
- Promediado máximo con memoria
- Promediado "Trigger"

La figura 4.33 presenta el diagrama de flujo de las técnicas de procesamiento digital de señales implementadas en la Tesis que después de detallará a continuación el detalle de cada técnica por separado.



**Figura 4.33:** Diagrama de flujo de las técnicas de procesamiento digital de señales implementadas en la Tesis

#### 4.4.5.1.1- Promediado Lineal

Esta técnica consiste en tomar varias muestras y después calcular la media del resultado. Esto puede ser realizado promediando las líneas espectrales obtenidas después del proceso de la FFT. Esta técnica permite reducir el nivel de ruido de fondo, pero el tiempo de procesamiento aumenta mucho.

A continuación se describe con detalle cómo se ha implementado este tipo de promediado mediante la ecuación 4.18.

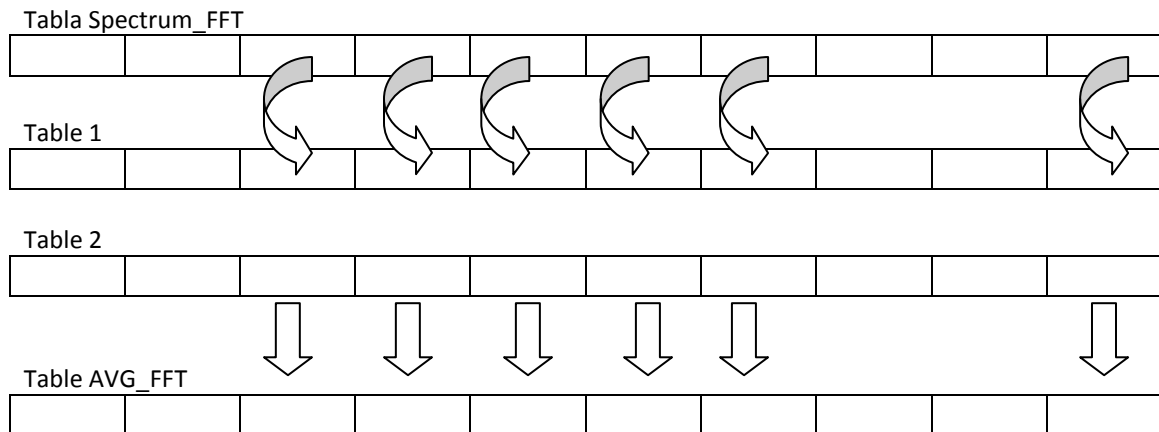
$$AVG\_FFT(i) = \frac{\sum_{j=1-N_{bucle}}^{j=0} Spetrum\_FFT_{t+j}(i)}{N_{bucle}} \quad (4.18)$$

$AVG\_FFT(i)$  = Promediado calculado

$Spetrum\_FFT_{t+j}$  = Espectro calculado al instante t+j

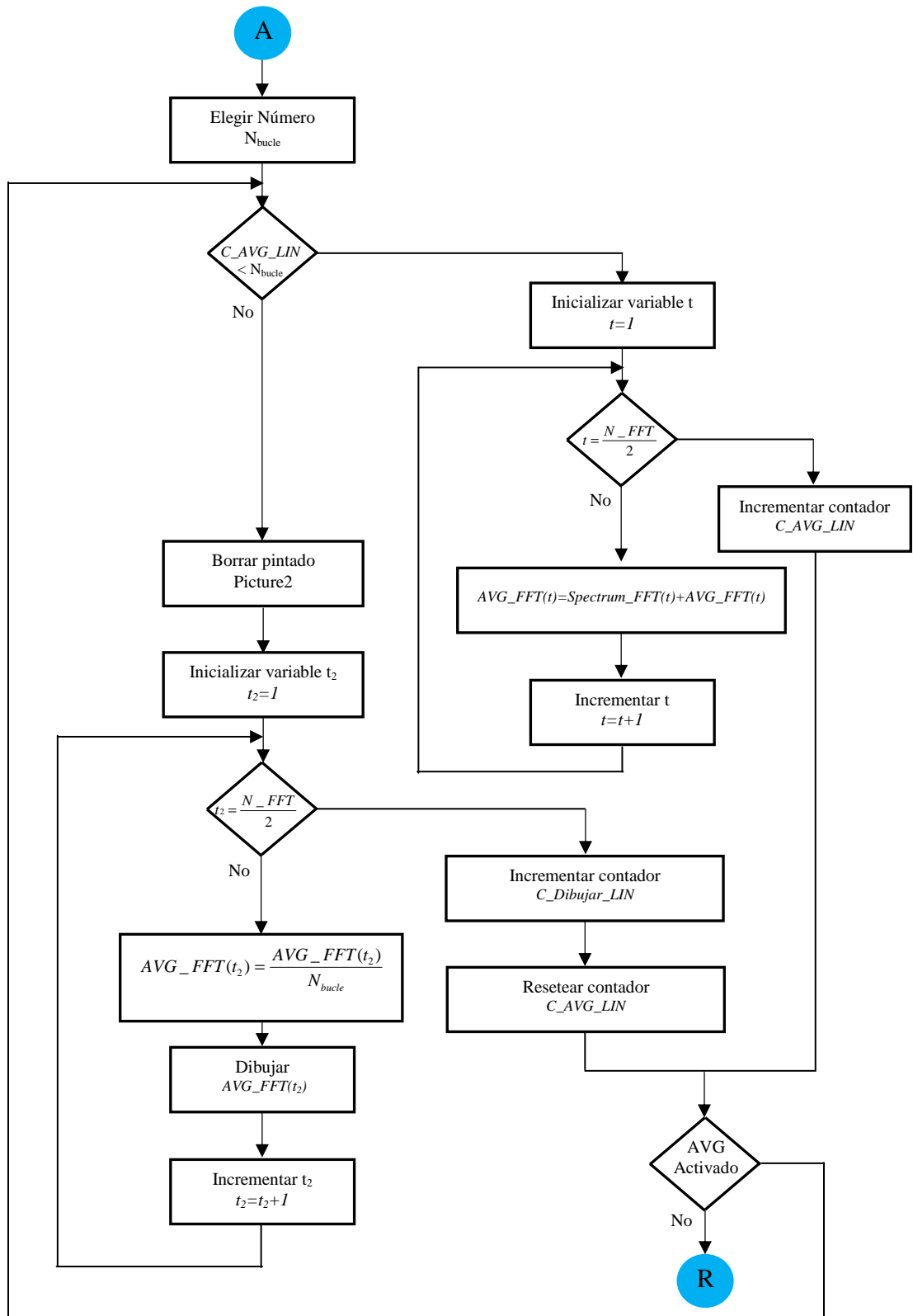
$N_{bucle}$  = Número de iteraciones para el cálculo del promediado

En la Figura 4.34 se representa la tabla “Spectrum\_FFT” que contiene los datos del espectro calculado. Se crea una nueva tabla llamada “AVG\_FFT” que va ser de la misma dimensión que la tabla “Spectrum\_FFT”, así que los tipos de datos serán iguales.



**Figura 4.34:** Representación de la técnica utilizada para calcular el promediado lineal

La implementación consiste en ir copiando los valores espectrales uno a uno en cada iteración de tiempo, y cuando se alcanza el número de bucle (seleccionado desde el interface gráfico de usuario GUI), realizamos la media de todos los elementos del mismo índice de las tablas. El resultado final del promediado será almacenado en la tabla “AVG\_FFT”. Esta tabla se pintara después en la gráfica del espectro de la señal en el GUI. El proceso completo está representado en el diagrama de flujo de la Figura 4.35.



**Figura 4.35:** Diagrama de flujo del promediado lineal implementado en la Tesis

#### 4.4.5.1.2- Promediado exponencial

El promediado exponencial que utilizamos en esta Tesis es la técnica de «media móvil exponencial ponderada (EWMA)» que es una forma estadística para el seguimiento del proceso del promediado de los datos, dando más peso a los datos más recientes, pero al mismo tiempo tener en cuenta el efecto de los datos antiguos.

El promediado exponencial EWMA fue primero introducido en 1959 [ROB59], pero no ha sido evaluadas sus propiedades hasta el año 1987 [LUC et alii 90].

A diferencia de otros tipos de promediado, el número de periodos  $N$  no entra en el cálculo de la medida, sino que sólo sirve para especificar la constante de suavizado  $\alpha$ . De hecho cada cálculo de la media móvil exponencial añade el efecto los datos más reciente sin ignorar los viejos.

La media móvil exponencial ponderada se expresa en términos de esta media calculada en el periodo anterior, mediante la Ecuación 4.19 [LYON10].

$$\begin{aligned} Y_1 &= Spectrum\_FFT(1) \\ Y_N &= \alpha(Spectrum\_FFT) + (1 - \alpha)Y_{N-1}, \text{ para } N=1,2,...N\_FFT \end{aligned} \quad (4.19)$$

Dónde:

$Y_N$ : Promediado calculado  
 $Y_{N-1}$ : Promediado anterior  
 $SPECTRUM\_FFT$ : Señal actual capturado  
 $\alpha$ : es una constante,  $0 < \alpha < 1$

Se puede escribir la ecuación 4.19 de otra forma en la cual se elimina una de las multiplicaciones anteriores del promediando mientras se añade una operación de adición, la ecuación resultante será la (Ecuación 4.20). Esta forma también subraya que la media móvil exponencial tiende a retener su valor anterior y que sólo su valor se actualiza añadiendo una fracción de su diferencia con respecto al dato más reciente.

$$\begin{aligned} Y_1 &= Spectrum\_FFT(1) \\ Y_N &= Y_{N-1} + \alpha(Spectrum\_FFT - Y_{N-1}), \text{ para } N=1,2,...N\_FFT \end{aligned} \quad (4.20)$$

La ecuación de la media móvil exponencial ponderada debe ser inicializada, en la mayoría de los casos, se puede utilizar  $Y1 = \text{Spectrum\_FFT}(1)$ . Se puede también inicializar este valor con la media de los 4 o 5 primeros datos. El efecto de la inicialización de Y1 en el cálculo de la media móvil exponencial ponderado va depender también de la constante  $\alpha$ . A más valor de la constante  $\alpha$ , tiende a reducir más rápidamente el impacto de las capturas más antiguas.

El coeficiente  $\alpha$  puede ser expresado como:

- Valor numérico por ejemplo  $\alpha = 0.125$
- Porcentaje : por ejemplo  $\alpha = 10\% \rightarrow \alpha = 0.1$
- En número de periodos : por ejemplo  $N=5$ ,  $\alpha = 2/N+1$  aproximadamente,  $\rightarrow \alpha=0.33$

El proceso completo implementado para el promediado tipo exponencial está representado en el diagrama de flujo de la Figura 4.36.

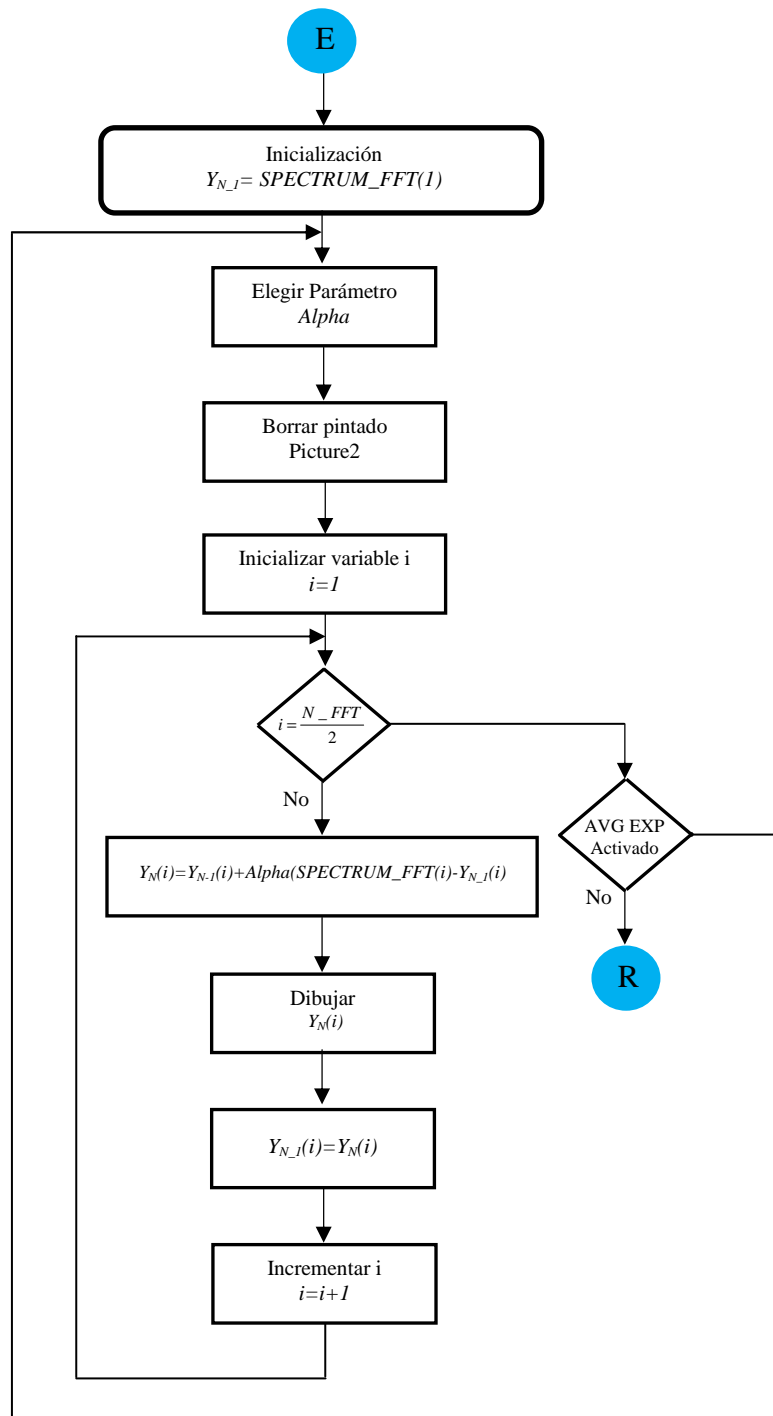
#### 4.4.5.1.3- Promediado Máximo

El método utilizado para el cálculo del promediado tipo máximo es el siguiente:

- Se crea una tabla de la misma dimensión que la matriz resultado del cálculo de la transformada de Fourier rápida FFT.
- Se realiza para cada elemento calculado  $\text{SPCTRUM\_FFT}(i)$  una comparación con el elemento de la tabla de máximos  $\text{MAX\_FFT}(i)$ .
- Si el elemento de la tabla  $\text{SPCTRUM\_FFT}(i) > \text{MAX\_FFT}(i)$  copiamos el elemento  $\text{SPCTRUM\_FFT}(i)$  en  $\text{MAX\_FFT}(i)$
- Cada cierto tiempo, se actualiza el contenido de la tabla  $\text{MAX\_FFT}(i)$  para refrescar de nuevo con valores actuales y que no se quedan registrados los máximos para siempre. Este parámetro es ajustable.

i	1	2	3	4	5	6	7	8	.....	N_FFT / 2
MAX_FFT									.....	
SPCTRUM_FFT									.....	

**Tabla 4.21:** Tablas para implementación del promediado Máximo



**Figura 4.36:** Diagrama de flujo del promediado lineal implementado en la Tesis



## 4.5- INTERFAZ GRÁFICO DE USUARIO

En esta parte se presenta el interfaz gráfico de usuario (GUI) desarrollado. Se ha utilizado Visual Basic 6.

El sistema interfaz gráfico de usuario desarrollado dispone de las siguientes partes.

- Modo Automático
- Modo Pre-programado
  - o En este modo hemos creado una lista de las frecuencias fijas que pueden ser utilizadas para el caso análisis de señales del SMSSM.
- Modo Escaneo Automático
  - o Este modo es utilizado para realizar un barrido secuencial de hasta 10 canales distintos definidos por el usuario. Se puede definir para cada canal una frecuencia de recepción distinta, así como el modo y el filtro de ancho de banda distinto. El tiempo de escaneo también está definido por el usuario. El objetivo de esta parte es poder monitorizar frecuencia en concreto, y activar el vigilante de nivel de la señal por el fin de grabar el espectro una vez alcanzado el nivel marcado.
- Escaneo EMC
- Base de datos: la base de datos puede ser activada en cualquier momento por el fin de iniciar la captura de los datos y guardarlo en un fichero Microsoft Access que puede ser accedido posteriormente para futuras análisis (Ver párrafo 4.6.1).

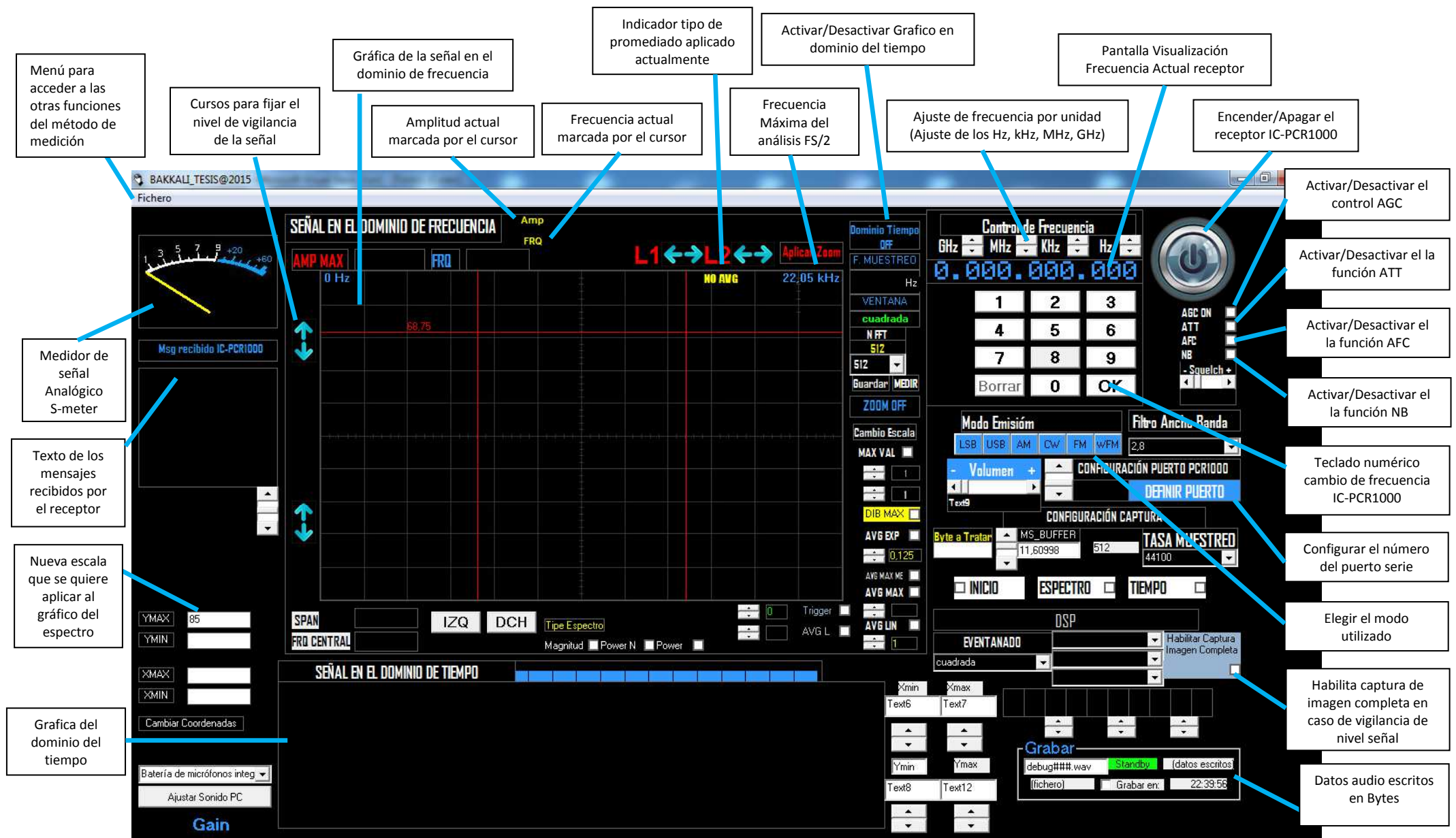


Figura 4.37: Interfaz gráfico de usuario desarrollado en esta Tesis (Pantalla principal-a)

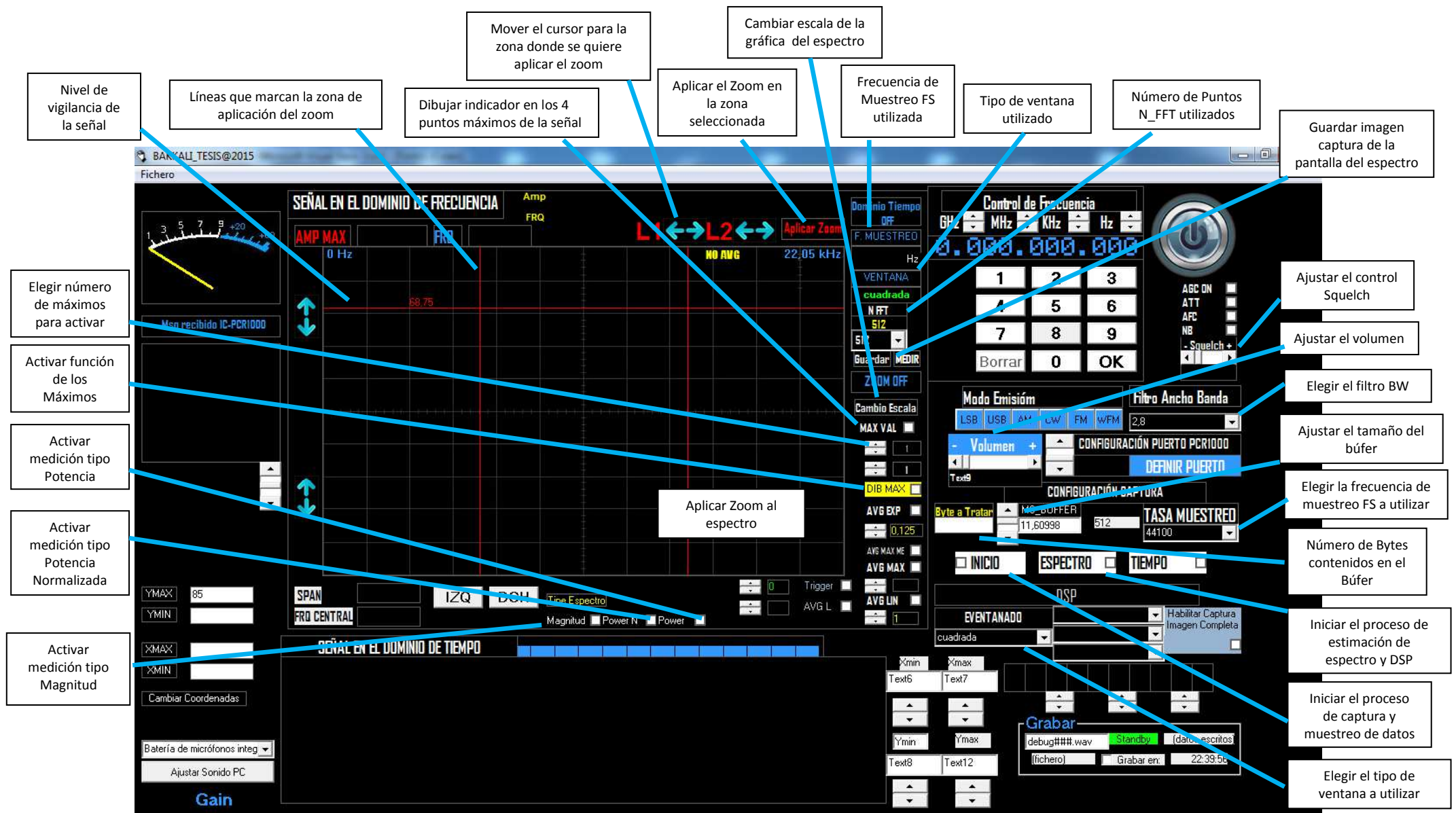


Figura 4.38: Interfaz gráfico de usuario desarrollado en esta Tesis (Pantalla principal-b)

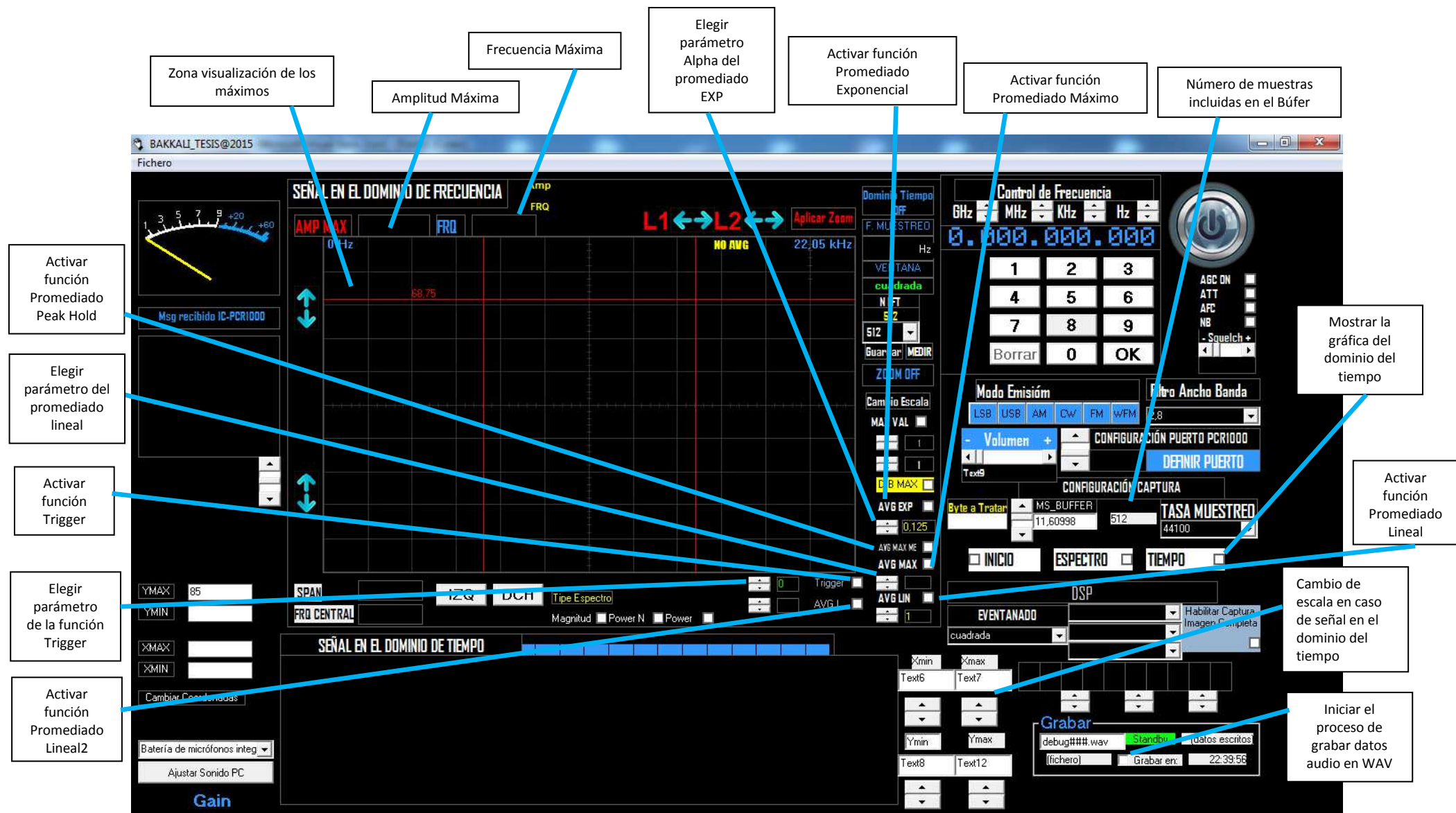


Figura 4.39: Interfaz gráfico de usuario desarrollado en esta Tesis (Pantalla principal-c)





Figura 4.40: Interfaz gráfico de usuario desarrollado en esta Tesis (Menú principal)



Figura 4.41: Interfaz gráfico de usuario desarrollado en esta Tesis (Menú Escaneo Automático)



Figura 4.42: Interfaz gráfico de usuario desarrollado en esta Tesis (Menú Escaneo EMC)

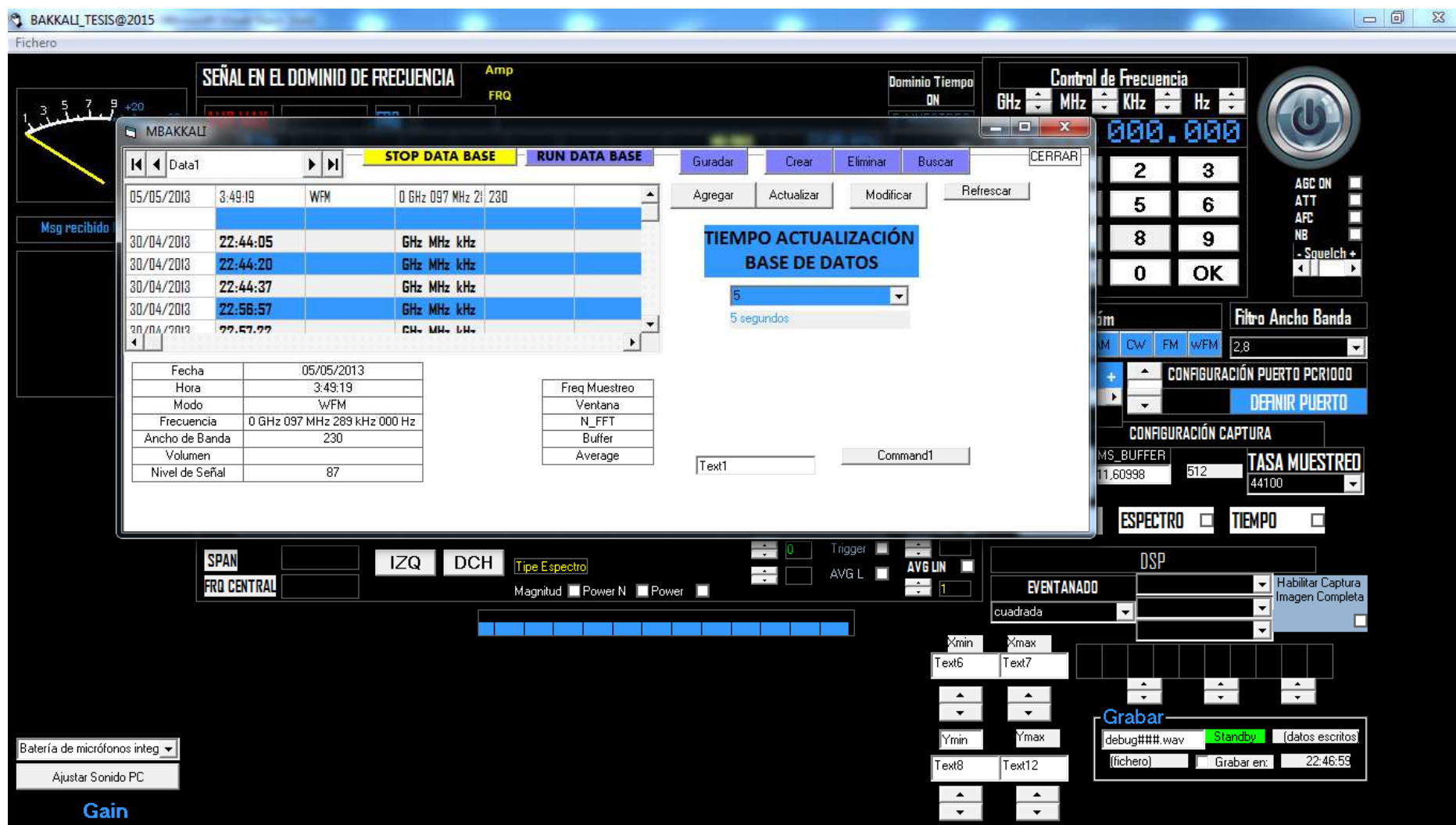


Figura 4.43: Interfaz gráfico de usuario desarrollado en esta Tesis (Menú Base de datos)



## 4.5.1- Implementación del medidor de señal analógico (S-meter)

### 4.5.1.1- Introducción

El medidor de señal recibida (en inglés *S-meter*) está diseñado para indicar la intensidad de señal que sale de la última etapa de frecuencia intermedia del receptor con fines de comparación y ayudar en la sintonización del receptor y algunas veces para ajustar la antena.

Normalmente se calibra en unidades del 1 al 9 y luego en “decibelios por encima de de S-9.” Según un estándar, [BALC92] S-9 representa 50  $\mu\text{V}$  en las terminales de la antena, y cada número de S representa 6 dB o lo que es lo mismo, el doble del voltaje del anterior. Sin embargo, en realidad hay muy poca normalización y las lecturas del medidor de S son casi inútiles, excepto como ayuda para la sintonización o para hacer estudios aproximados de propagación de señales, dado que por lo general no se suelen calibrar los medidores desde la borna de entrada de la antena ni desde el otro extremo de la línea de transmisión.

Por ejemplo: si el Medidor S-meter indica S6, puesto que cada número S representa 6dB, la señal será 18 dB menor que 50 $\mu\text{V}$ .

Usando la fórmula

$$dB = 20 \log \frac{V_1}{V_2} \quad (4.21)$$

Se establece dB=18, se sabe que  $V_1=50 \mu\text{V}$ , así que se calcula  $V_2$  de la siguiente forma:

$$\frac{V_1}{V_2} = \text{anti log} \left( \frac{dB}{20} \right) \quad (4.22)$$

$$V_2 = \frac{50 \mu\text{V}}{\text{anti log}(18/20)} = 6.29 \mu\text{V} \quad (4.23)$$

La línea del control automático de frecuencia (AGC) provee la tensión que varía con la intensidad de la señal y, a menudo, se utiliza como fuente de intensidad para el circuito medidor S [BALC92].

#### 4.5.1.2- Calibrar el control del medidor de señal (S-meter) del IC-PCR1000

Existe una instrucción que permite saber el nivel del S-meter actual en el receptor IC-PCR1000. La instrucción utilizada es "I1 ?".

A continuación se pone el código para leer el valor del S-meter del IC-PCR1000

```
-----  
MSComm1.Output = "I1 ?" & Chr$(13) & Chr$(10)  
-----
```

Esta instrucción devuelve un número hexadecimal que indica el valor del S-meter que mide el receptor IC-PCR1000.

La Tabla 4.22 representa los valores hexadecimales que nos devuelve el receptor con valor equivalente en decimal, así que la banda que corresponde a cada valor del S-meter.

Valor en Hexadecimal Devuelto por el IC-PCR1000	Valor en Decimal	Banda
00	0	S0
30	48	S3
50	80	S5
70	112	S7
90	144	S9
B0	176	S9+20
D0	208	S9+40
F0	240	S9+60

**Tabla 4.22:** los valores hexadecimales que nos devuelve el receptor con valor equivalente en decimal, así que la banda que corresponde a cada valor del S-meter

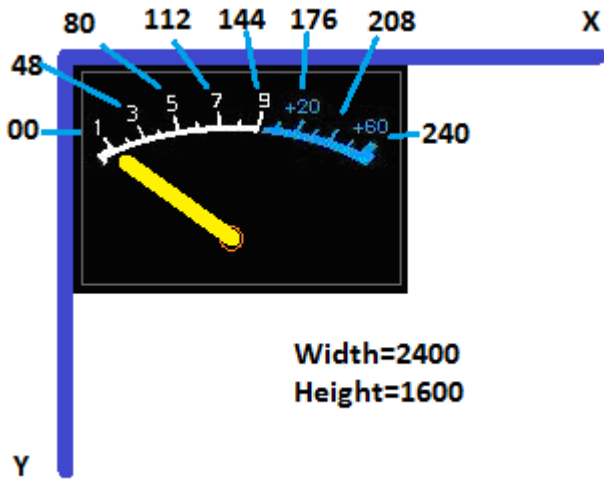
El objetivo de esta parte es implementar en el GUI, un indicador visual que indica el valor del S-meter del receptor IC-PCR1000 que nos va servir de ayuda a la hora de realizar mediciones. Por este motivo se presenta como hemos realizado dicho control.

Se utiliza un control *PictureBox* de visual Basic que contiene la imagen de la figura 4.37.



**Figura 4.37:** Grafico del medidor S-meter que se ha implementado en el GUI

Se utiliza la propiedad *Line* del control *PictureBox* para dibujar línea que tiene como inicio el centro de la imagen y como final el punto con coordenadas (X,Y) que va depender del nivel S-meter recibido por el IC-PCR1000.



**Figura 4.38:** Procesor de calibración : valores que se asignan a cada banda del S-meter

Coordenada X Inicio	Coordenada Y Inicio	Coordenada X Fin	Coordenada Y Fin	Banda S-meter	Nivel obtenido en decimal
1200	1300	120	630	0	
1200	1300	200	555	S0	0
1200	1300	500	500	S3	48
1200	1300	700	435	S5	80
1200	1300	1000	390	S7	112
1200	1300	1300	420	S9	144
1200	1300	1600	450	S9+20	176
1200	1300	1800	510	S9+40	208
1200	1300	2100	600	S9+60	240

**Tabla 4.23:** Cálculos usados para calibrar el nivel de la señal desde el PCR1000

#### 4.5.1.2.1- Leer el valor del nivel de la señal desde el PCR1000

Teniendo en cuenta que el IC-PCR1000 está continuamente mandando mensaje en texto, y cuando se envía al receptor la instrucción "I1" este responde con un mensaje "I1" seguido del valor en tres dígitos que corresponde al nivel en hexadecimal del S-meter del receptor. Por este motivo se realiza un escaneo continuo de los mensajes recibidos del receptor, y una vez detectado la palabra I1, se recupera los tres dígitos que siguen el código I1 que serán el valor del S-meter.

```
MSComm1.Output = "I1 ?" & Chr$(13) & Chr$(10)
cadena = CStr(MSComm1.Input)
```

```
If (Mid(cadena, 1, 2) = "I1") Then
```

```

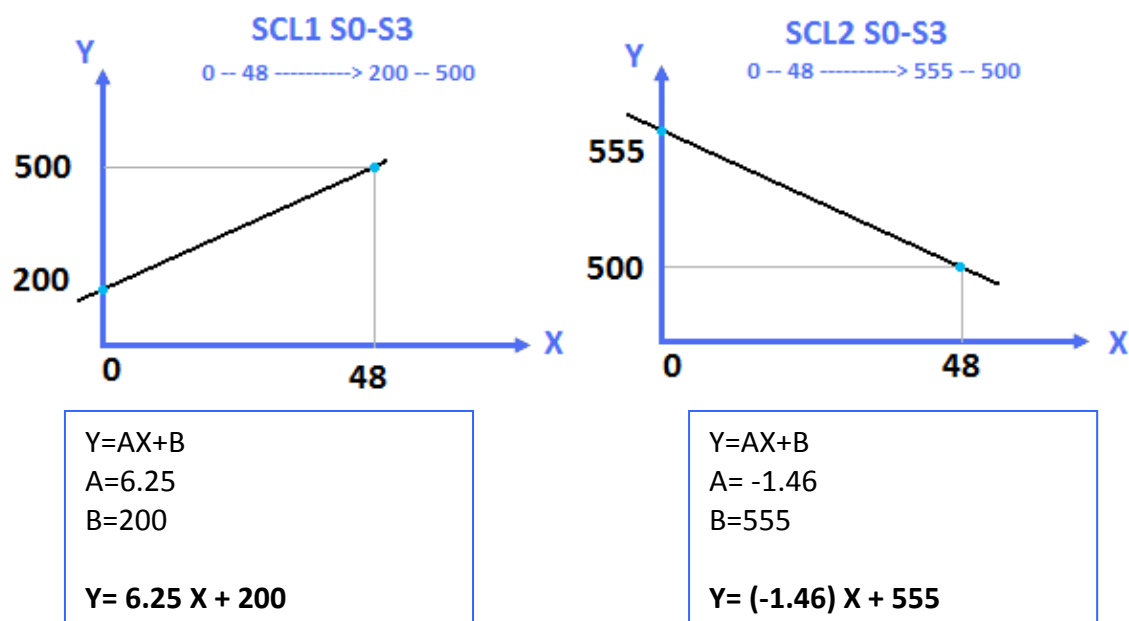
nivel = Mid(cadena, 3, 3)
If Not (nivel = "") Then
    Nivel_senal = CSng(Val("&H" & nivel))
End If

```

Una vez recuperado el valor del S-meter recibido del IC-PCR1000, se debe convertirse utilizando la Tabla 4.23, y después dibujar una línea de color amarillo en la posición correspondiente al valor actual, como se muestra en la figura 4.38.

A continuación se describe como se han implementado el escalado del nivel S-meter para cada banda desde el S0 hasta S9+60.

#### 4.5.1.2.2- Escalado Banda S0- S3



**Figura 4.44:** Escalado Banda S0- S3 del medidor S-meter receptor IC-PCR1000

#### Implementación en VB6

'Zona S0-S3

```

If (Nivel_senal < 48) Then
    aux_X = (6.25 * Nivel_senal) + 200
    aux_Y = (-1.46 * Nivel_senal) + 555

    With Picture4
        .AutoRedraw = True
        .Cls
        Picture4.DrawWidth = 3
        Picture4.Line (1200, 1300)-(aux_X, aux_Y), vbYellow
    End With

```

#### 4.5.1.2.3- Escalado Banda S3-S5

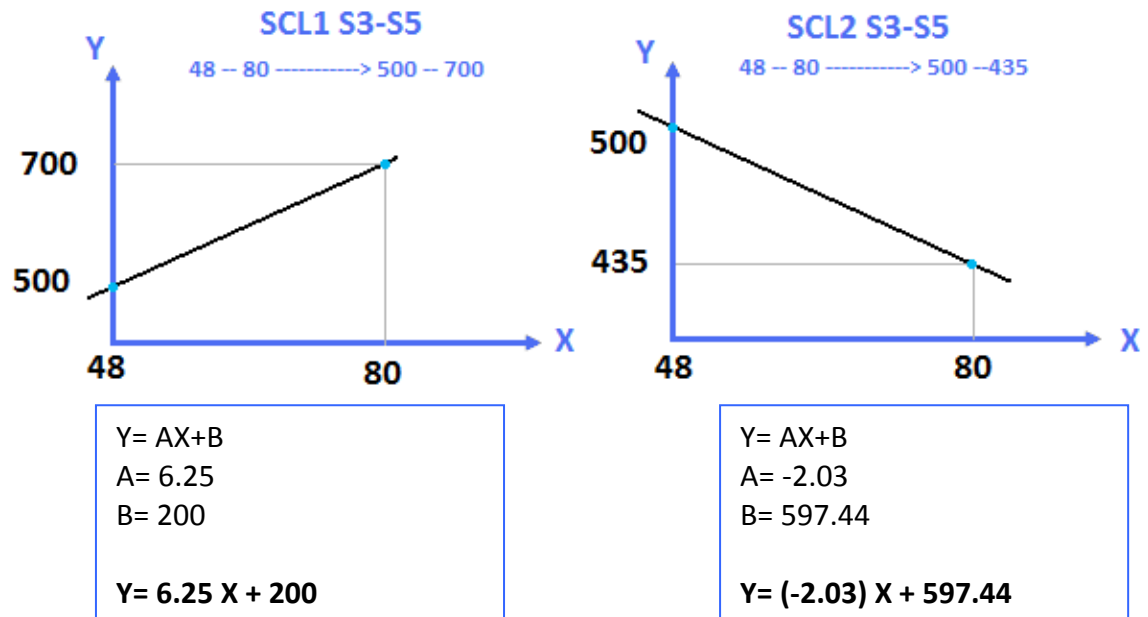


Figura 4.45: Escalado Banda S3- S5 del medidor S-meter receptor IC-PCR1000

#### Implementación en VB6

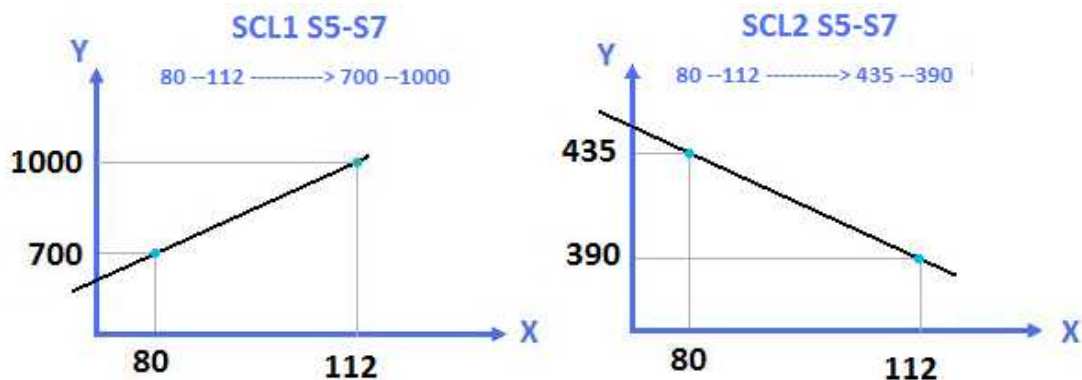
'zona S3-S5

```

If ((Nivel_senal > 48) And (Nivel_senal < 80)) Then
    aux_X = (6.25 * Nivel_senal) + 200
    aux_Y = (-2.03 * Nivel_senal) + 597.44
    With Picture4
        .AutoRedraw = True
        .Cls
        Picture4.DrawWidth = 3
        Picture4.Line (1200, 1300)-(aux_X, aux_Y), vbYellow
    End With

```

#### 4.5.1.2.4- Escalado Banda S5-S7



$$Y = AX + B$$

$$A = 9.37$$

$$B = -49.6$$

$$Y = 9.37 X - 49.6$$

$$Y = AX + B$$

$$A = -1.41$$

$$B = 547.5$$

$$Y = (-1.41) X + 547.5$$

**Figura 4.46:** Escalado Banda S5- S7 del medidor S-meter receptor IC-PCR1000

#### Implementación en VB6

'zona S5-S7

If ((Nivel\_senal >= 80) And (Nivel\_senal < 112)) Then

aux\_X = (9.37 \* Nivel\_senal) - 49.6

aux\_Y = (-1.41 \* Nivel\_senal) + 547.4

With Picture4

.AutoRedraw = True

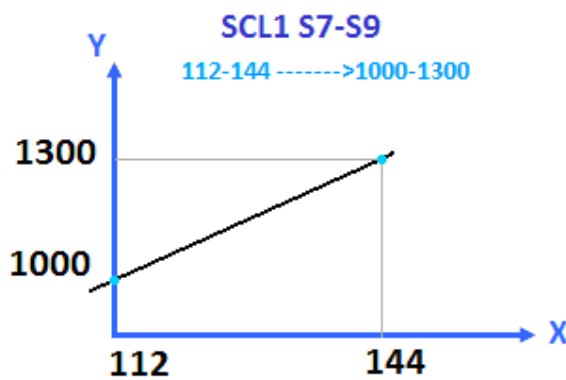
.Cls

Picture4.DrawWidth = 3

Picture4.Line (1200, 1300)-(aux\_X, aux\_Y), vbYellow

End With

#### 4.5.1.2.5- Escalado Banda S7-S9

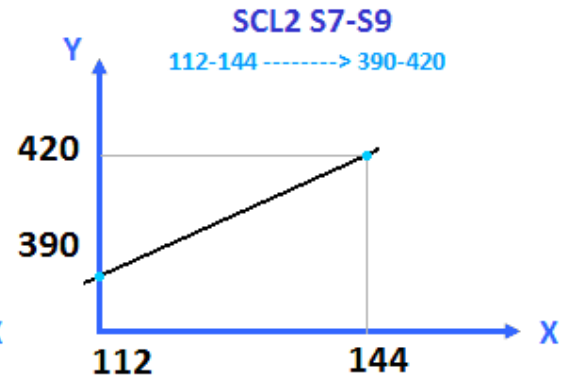


$$Y = AX + B$$

$$A = 9.37$$

$$B = -49.44$$

$$Y = 9.37 X - 49.44$$



$$Y = AX + B$$

$$A = 1.07$$

$$B = 270.53$$

$$Y = (1.07) X + 270.53$$

**Figura 4.47:** Escalado Banda S7- S9 del medidor S-meter receptor IC-PCR1000

#### 4.5.1.2.6- ESCALADO BANDA S9 – S9+20

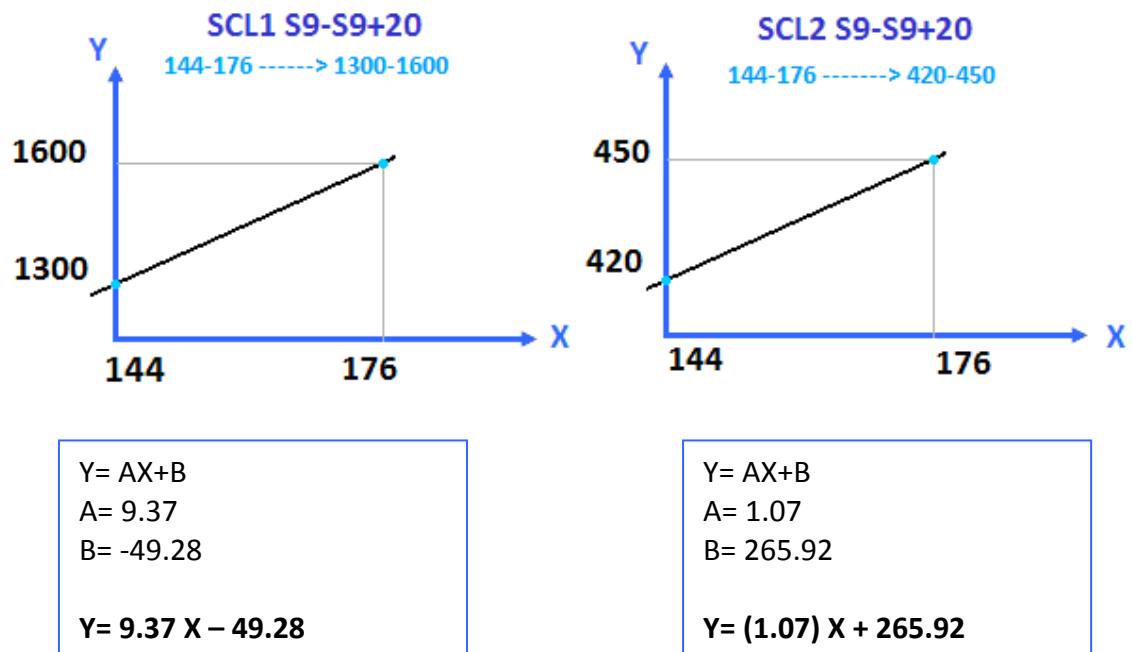


Figura 4.48: Escalado Banda S9- S9+20 del medidor S-meter receptor IC-PCR1000

#### 4.5.1.2.7- ESCALADO BANDA S9+20 – S9+40

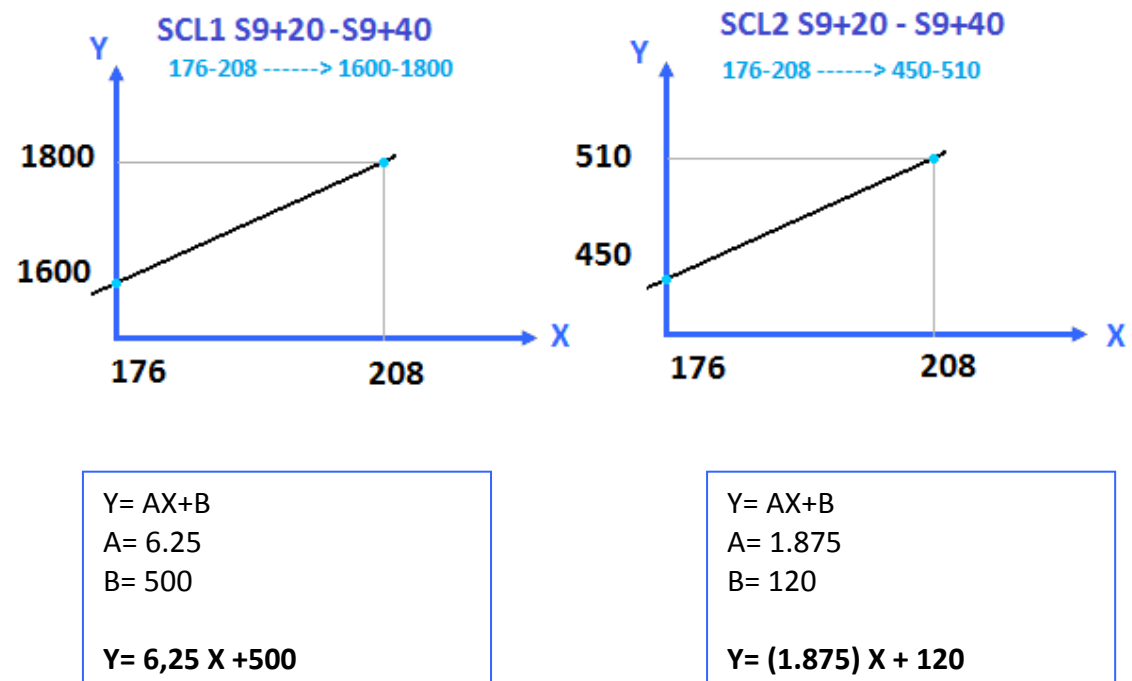


Figura 4.49: Escalado Banda S9+20- S9+40 del medidor S-meter receptor IC-PCR1000

#### 4.5.1.2.8- ESCALADO BANDA S9+40 – S9+60

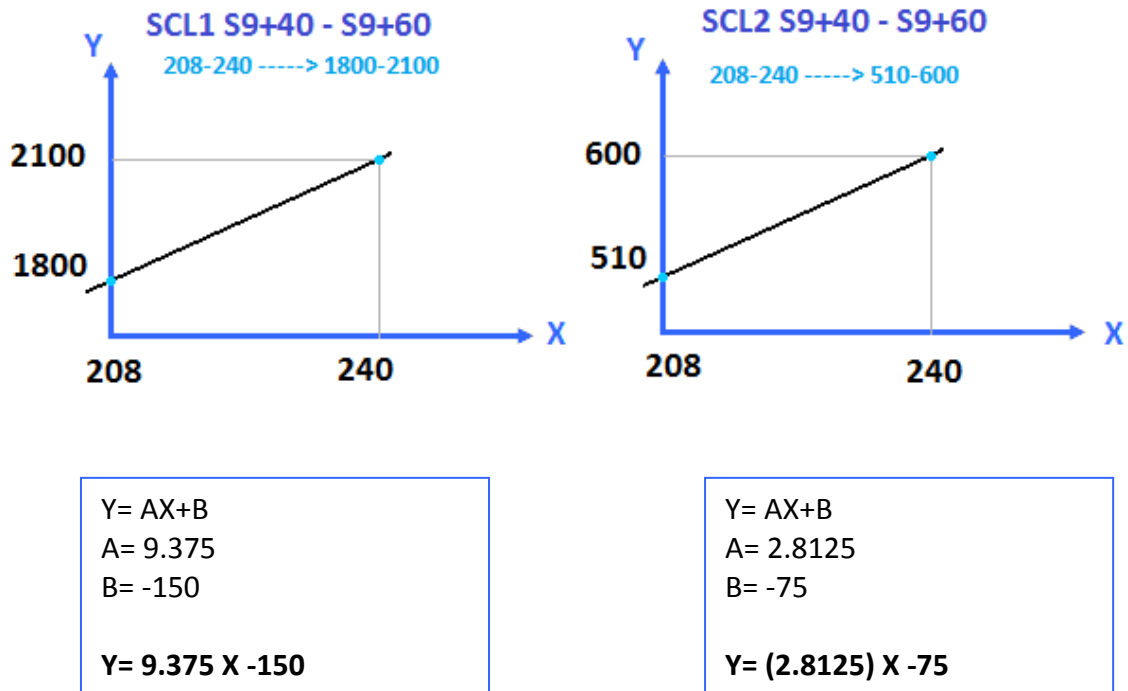


Figura 4.50: Escalado Banda S9+40- S9+60 del medidor S-meter receptor IC-PCR1000

## 4.6- BASE DE DATOS

### 4.6.1- Base de datos en formato Microsoft Access

En esta parte se ha desarrollado una base de datos que se puede activar en cualquier momento, y los datos elegidos se van guardando en un fichero cada periodo de tiempo que se puede fijar.

Los datos incorporados en la base de datos son:

- Fecha
- Hora
- Modo del receptor
- Frecuencia del receptor
- Ancho de banda del receptor
- Volumen
- Nivel de la señal S-meter
- Frecuencia de muestreo
- Ventana
- Número de puntos N\_FFT
- Búfer
- Tipo de promediado aplicado



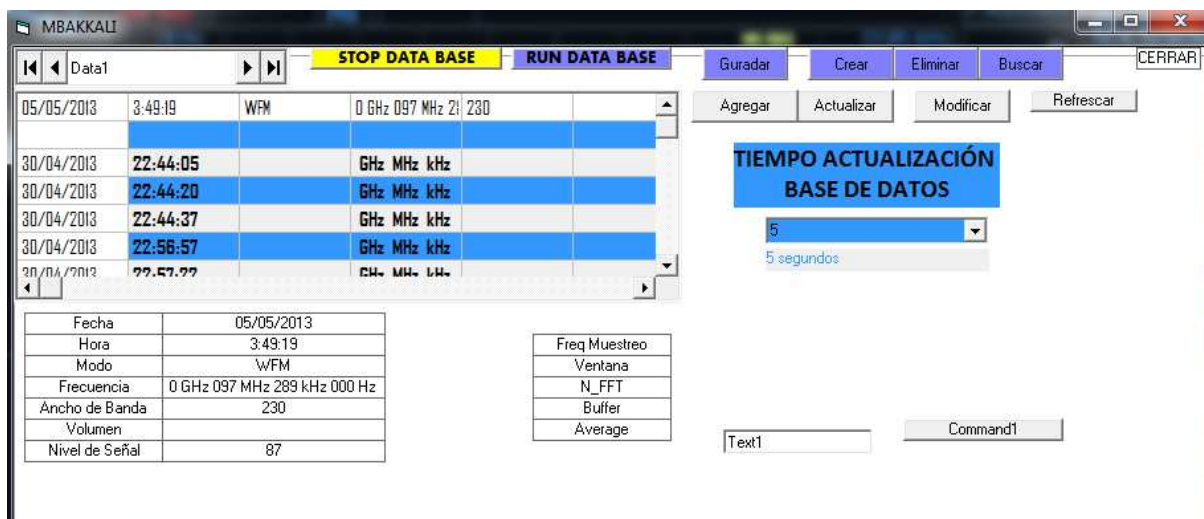


Figura 4.52: Ventana de la base de datos implementada

## 4.6.2- Base de datos del espectro en formato imagen BMP o JPEG

En esta parte se han implementado dos sistemas de base de datos para guardar imágenes en formato BMP o bien JPEG en caso de activar esta función. La imagen será guardada si se detecta una señal con nivel superior al límite que fijamos por el cursor en el GUI. La imagen se guarda en disco duro con el nombre que incluirá información del momento de captura de la imagen: Fecha, hora, minutos y segundos. De esta forma se puede realizar un estudio posterior a la realización de las medidas, y ver el formato del espectro de la señal que ha superado el nivel, así como ver todos los datos relativos a la frecuencia, amplitud, modo, filtro de ancho de banda, número de puntos FFT, frecuencia de muestreo FS, Ventana aplicada, etc. Esta función es compatible también con el modo escaneo automático y la activación de la base de datos Access, de esta forma se puede activar el modo automático con vigilancia de nivel y base de datos al mismo tiempo.

## 4.6.3- Grabar los datos en Archivo Audio

### 4.6.3.1- Introducción

Después de capturar la señal del IC-PCR1000 usando la tarjeta de sonido y realizar la transformada de Fourier rápida (FFT) y el procesamiento digital (DSP) adecuado, una de las opciones que se han implementado para nuestro método es poder guardar los archivos en disco duro para su posterior análisis y tratamiento. El objetivo de esta parte es estudiar el formato de grabación de los datos en disco duro.

Dado que evaluar la viabilidad de usar un formato u otro, forma parte de nuestra Tesis. Tuvimos que estudiar qué técnicas son necesarias para grabar los datos de formato audio que obtenemos usando nuestro método de medición. Por este motivo, primero hay que saber cómo generar el archivo que contiene los datos y la relación tamaño/calidad por el fin de poder conocer su posible implementación en nuestro trabajo. Si el objetivo que se busca es grabar con la máxima calidad posible, el primer paso es necesario conocer cuánto ocuparán los datos que capturamos.

#### **4.6.3.2- Formatos de registro digital de datos de audio**

Existen varios formatos [MICR 11], [IBM91] para guardar archivos de audio digital, cada uno desarrollado por un fabricante. Cada formato tiene asociada una extensión.

Se pueden clasificar los formatos en dos tipos generales:

- Formatos sin compresión
- Formato con compresión

##### **4.6.3.2.1- Formatos sin compresión**

Son métodos que guardan los datos audio sin realizar ningún tipo de modificación. Estos métodos presentan la ventaja de conservar la máxima calidad del archivo audio, pero tienen el inconveniente de tener un tamaño grande y por lo tanto necesitan gran espacio de disco duro. La media necesaria es entre 2,6 y 10,4 Mb (mega bites) por minuto guardado.

##### **4.6.3.2.2- Formato con compresión**

Son métodos que almacenan el dato audio utilizando unas técnicas de compresión, que tienden a reducir el tamaño del archivo. El gran inconveniente de usar estos métodos es la pérdida de calidad del dato audio.

En el trabajo que desarrollamos en esta Tesis, el factor calidad es muy importante, ya que estamos analizando datos que presentan características muy restrictivas caso por ejemplo a la hora de distinguir una interferencia dentro de un barrido que hacemos con el IC-PCR1000, en

este caso, es necesario grabar el archivo un una calidad máxima por el fin de poder realizar trabajos de análisis y tratamiento de señal en diferido.

Por este motivo, hemos elegido de trabajar con el formato sin compresión que a continuación se describe.

#### **4.6.3.3- Formato WAV**

WAV es un formato de archivos de audio que fue desarrollado conjuntamente por Microsoft e IBM. Se identifica por una extensión de nombre de archivo WAV (.wav). Permite almacenar datos audio de forma bruta y en formato de bloques [MICR 11].

Los ficheros WAV no comprimidos ocupan cerca de 86 kB por segundo de tiempo de ejecución. (16 bits por muestra, 44100 muestras por segundo)

Se utiliza el formato WAV para almacenamiento del tipo de audio estándar PCM (Pulse Code Modulation) o como se denominan originalmente, *chunks*.

El formato PCM es el formato de archivo normalizado para las señales de sonido, porque los datos son originales, es decir, que no han sido ni modificados ni comprimidos.

El archivo tiene una cabecera de 44 bytes, donde se dispone de información sobre el tipo de señal, como por ejemplo: formato, frecuencia, número de líneas, etc. En el caso de 8 bits, el valor de la amplitud es sin signo y en el caso de 16 bits, el valor de la amplitud es con signo.

#### **4.6.3.4- Limitación formato WAV**

Existe un límite respecto al formato de ficheros WAV que no permiten contener más de 4 GB de información. En el caso de una grabación estándar usando una frecuencia de muestreo de 44100 muestras/segundos, 16 bits por muestra y un canal, podríamos teóricamente estar grabando algo más de 13 horas continuas antes de alcanzar el límite de los ficheros WAV, lo que nos lleva a considerar que esta limitación del formato, no supone una barrera para la aplicación que desarrollamos. Además, por software, hemos implementado otra solución adicional que consiste en guardar varios archivos cada hora, cambiando el nombre al archivo poniéndole como nombre del fichero Año\_Mes\_Día\_hora.WAV. De esta forma nunca

alcanzamos el límite de grabación aunque se usan los parámetros máximos tanto de muestreo que de resolución de bits.

Vamos a hacer un cálculo del tamaño que ocupa el fichero WAV para una hora de grabación. El resultado se representa en la Tabla 4.24.

El siguiente ejemplo muestra cómo se realiza el cálculo en la Tabla 4.24.

El tamaño en datos que se necesita para grabar 10 segundos de audio, en el caso trabajar con una frecuencia de muestreo de 44100 Hz y profundidad de 16 bits:

$$10 \times 44100 \times 2 = 882000 \text{ bytes} \approx 1\text{Mb}$$

Frecuencia de muestreo Hz	Bit de Resolución Bits	Tamaño fichero en MB	Tamaño fichero en Gigabytes
8000	16	57	0.05
11025	16	79	0.07
16000	16	115	0.11
22050	16	158	0.15
32000	16	230	0.23
44100	16	296	0.30
48000	16	345	0.34
88200	16	635	0.63
96000	16	691	0.69
192000	16	1382	1.38

**Tabla 4.24:** Tamaño del archivo WAV durante 1 hora de audio digital muestreado a diferentes frecuencias de muestreo y bit de resolución

#### 4.6.3.5- Grabar la señal recibida en un archivo WAV

Durante la búsqueda bibliográfica encontramos un control denominado MCI que permite de grabar la señal recibida a través de la entrada micrófono y archivarla en una ruta de acceso definido dentro del código.

La primera dificultad que tuvimos que resolver es poder grabar el fichero usando nombre distinto, y poder cambiar la ruta de almacenamiento desde el GUI.

El control Multimedia MCI administra la grabación y la reproducción de los archivos multimedia en dispositivos de interfaz de control de medios (MCI, Media Control Interface).

Conceptualmente, este control está constituido por una serie de botones que envían comandos MCI a dispositivos como tarjetas de audio, secuenciadores MIDI, unidades de CD-ROM, reproductores de CD de audio, reproductores de videodiscos y grabadores y reproductores de vídeo.

Cuando agrega un control Multimedia MCI a un formulario en tiempo de diseño, el control aparece en el formulario de la forma siguiente:



**Figura 4.51:** control Multimedia MCI en la GUI

El control Multimedia MCI se puede programar de varias formas:

- El control puede ser visible o invisible en tiempo de ejecución.
- Puede aumentar o volver a definir completamente la funcionalidad de los botones del control.
- Puede controlar varios dispositivos en un único formulario.

```
Private Sub Form_Load ()  
    ' Establece las propiedades necesarias para abrir MCI.  
    MMControl1.Notify = FALSE  
    MMControl1.Wait = TRUE  
    MMControl1.Shareable = FALSE  
    MMControl1.DeviceType = "WaveAudio"  
    MMControl1.FileName = "C:\audio.WAV"  
  
    ' Abre el dispositivo MCI WaveAudio.  
    MMControl1.Command = "Open"  
End Sub
```



## CAÍTULO 5: VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE MEDICIÓN

### 5.1- INTRODUCCIÓN

Es capitulo trata de demostrar la capacidad del método desarrollado para medir y detectar interferencias, realizar tratamiento digital de señales, así como mediciones relacionadas con pruebas de compatibilidad electromagnética.

Vamos a ver los parámetros más importantes a manipular en el momento de análisis de la señal. Es importante tener claro todo el proceso de medición. Se realiza un muestreo continuo de la señal de entrada utilizando la tarjeta de sonido, con una frecuencia de muestreo  $F_s$  muestras por segundos.

Para obtener el contenido de los componentes de frecuencia de esta señal digital, se aplica el algoritmo matemático FFT para el cálculo de la transformada digital de Fourier DFT, que como se ha explicado antes, la transformada Discreta de Fourier toma  $N$  muestras  $x(0)$ ,  $x(1)$ ,  $x(2)$ , ...,  $x(n)$  de la señal original muestreada (dominio del tiempo) realiza el cálculo matemático y produce  $N$  muestras de salida  $X(0)$ ,  $X(1)$ ,  $X(2)$ , ...,  $X(m)$  en el dominio de frecuencia (Figura 4.27).

Por la propiedad de simetría de la DFT, sólo se utilizan  $N/2$  muestras, porque la segunda parte  $N/2$  es una imagen. Estos puntos de salidas estarán localizados en las frecuencias  $0.F_s/N$ ,  $1.F_s/N$ ,  $2.F_s/N$ , ...,  $m.F_s/N$  de acuerdo con la ecuación 4.9 de la frecuencia de análisis.

La frecuencia más alta del análisis sería  $f_{\max} = F_s/2$  y se llama frecuencia de Nyquist. El filtro anti-aliasing cortará todos los componentes de frecuencia más alta que un valor específico que depende de la frecuencia de corte del filtro ( $f_c$ ).

La frecuencia mínima del análisis va depender del tiempo mínimo para llevar a cabo un ciclo DFT.

Los parámetros que podamos modificar en nuestro sistema de medición son:

- La frecuencia de muestreo de datos ( $F_s$ )
- Número de puntos utilizados o bien tamaño DFT ( $N_{\text{DFT}}$ ) o tamaño FFT ( $N_{\text{FFT}}$ )
- Tipo de ventana utilizado

- Técnicas adicionales de procesamiento digital de señal (DSP); como promediado, filtros, etc.)

El resultado de la DFT en el dominio de frecuencias muestreadas es una aproximación de la Transformada Continua de Fourier “CFT”. Cuantos más puntos cogemos para calcular la DFT, la aproximación de las DFT será mejor.

## 5.2- RESOLUCIÓN EN FRECUENCIA

La resolución en frecuencia depende de  $N_{\text{DFT}}$  y de la frecuencia de muestreo  $F_s$

$$R_e^f = \frac{F_s}{N} \quad (5.1)$$

Donde,

$R_e^f$ : Resolución en frecuencia

$F_s$ : Frecuencia de muestreo

$N$ : Número de puntos FFT

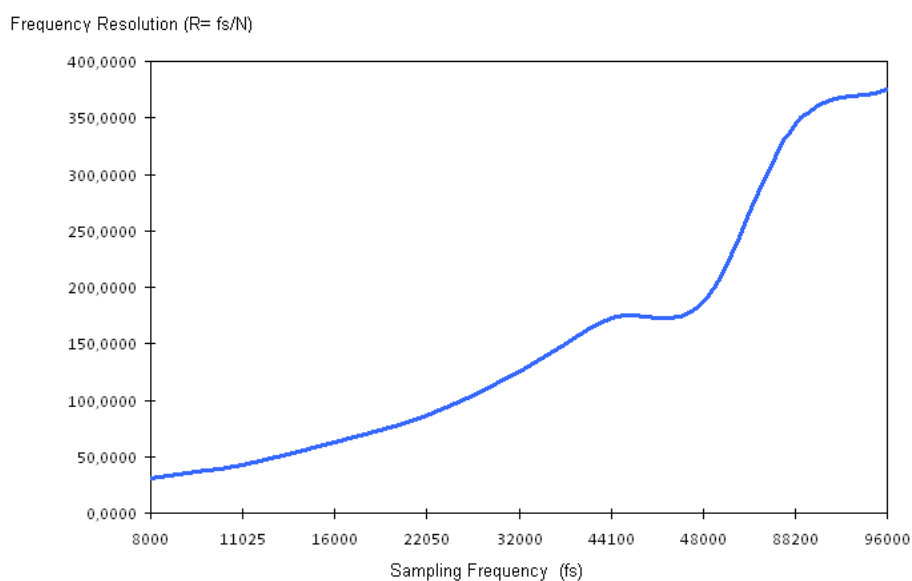
La resolución en frecuencia es un factor muy importante para la medición, porque va marcar la capacidad de nuestro método de medición para detectar señales y la posibilidad de separar una frecuencia de otra. A más resolución, más capacidad de detectar señales muy cerca en frecuencia y poder realizar un análisis más preciso. A continuación vamos a demostrar la eficacia de nuestro método, y las características en término de resolución en frecuencia que permite nuestro método. También se realizan mediciones para demostrar y validar este punto.

Primero calculamos la resolución que permite nuestro método. En las Tablas 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 y 5.6 se realiza el cálculo de Resolución en frecuencia ( $R_e^f$ ) y tiempo de actualización en función de las diferentes frecuencias de muestreo, y a diferentes puntos DFT disponible en nuestra aplicación, a saber 256, 512, 1024, 2048, 4096 y 8192 puntos FFT.



256 puntos FFT (8 bits)		
Frecuencia de muestreo (Fs)	Resolución en frecuencia ( $R_e^f$ )	Tiempo de actualización ( $T = N/Fs$ )
8000	31.25 Hz	32 ms
11025	43.0664 Hz	23.1995 ms
16000	62.5 Hz	16 ms
22050	86.1328 Hz	11.6099 ms
32000	125 Hz	8 ms
44100	172.2656 Hz	5.8049 ms
48000	187.5 Hz	5.3333 ms
88200	344.5312 Hz	2.9024 ms
96000	375 Hz	2.6666 ms

**Tabla 5.1:** Calculo de Resolución en frecuencia y tiempo de actualización en función de las diferentes frecuencias de muestreo, caso de 256 puntos FFT (8 bits)



**Figura 5.1:** Resolución en frecuencia para el caso de caso de 256 puntos FFT (8 bits)

512 puntos FFT (9 bits)		
Frecuencia de muestreo (Fs)	Resolución en frecuencia ( $R_e^f$ )	Tiempo de actualización ( $T = N/Fs$ )
8000	15.625 Hz	64 ms
11025	21.53320 Hz	46.4399 ms
16000	31.25 Hz	32 ms
22050	43.0664 Hz	23.2199 ms
32000	62.5 Hz	16 ms
44100	86.1328 Hz	11.6099 ms
48000	93.75 Hz	10.6666 ms
88200	172.2656 Hz	5.8049 ms
96000	187.5 Hz	5.3333 ms

**Tabla 5.2:** Calculo de Resolución en frecuencia y tiempo de actualización en función de las diferentes frecuencias de muestreo, caso de 512 puntos FFT (9 bits)

1024 puntos FFT (10 bits)		
Frecuencia de muestreo (Fs)	Resolución en frecuencia ( $R_e^f$ )	Tiempo de actualización ( $T = N/Fs$ )
8000	7.8125 Hz	0.128 s
11025	10.7666 Hz	92.879 ms
16000	15.625 Hz	64 ms
22050	21.5333 Hz	46.4399 ms
32000	31.25 Hz	32 ms
44100	43.0664 Hz	23.2199 ms
48000	46.875 Hz	21.3333 ms
88200	86.1328 Hz	11.6099 ms
96000	93.75 Hz	10.6666 ms

**Tabla 5.3:** Calculo de Resolución en frecuencia y tiempo de actualización en función de las diferentes frecuencias de muestreo, caso de 1024 puntos FFT (10 bits)

2048 puntos FFT (11 bits)		
Frecuencia de muestreo (Fs)	Resolución en frecuencia ( $R_e^f$ )	Tiempo de actualización ( $T = N/Fs$ )
8000	3.9062 Hz	0.256 s
11025	5.3833 Hz	185.7596 ms
16000	7.8125 Hz	128 ms
22050	10.7666 Hz	92.8798 ms
32000	15.625 Hz	64 ms
44100	21.5332 Hz	46.4399 ms
48000	23.4375 Hz	42.6666 ms
88200	43.0664 Hz	23.2199 ms
96000	46.875 Hz	21.3333 ms

**Tabla 5.4:** Calculo de Resolución en frecuencia y tiempo de actualización en función de las diferentes frecuencias de muestreo, caso de 2048 puntos FFT (11 bits)

4096 puntos FFT (12 bits)		
Frecuencia de muestreo (Fs)	Resolución en frecuencia ( $R_e^f$ )	Tiempo de actualización ( $T = N/Fs$ )
8000	1.9531 Hz	0.512 s
11025	2.6916 Hz	0.371s
16000	3.9062 Hz	0.256 s
22050	5.3833 Hz	185.7596 ms
32000	7.8125 Hz	128 ms
44100	10.7666 Hz	92.8798 ms
48000	11.7187 Hz	85.3333 ms
88200	21.5332 Hz	46.4399 ms
96000	23.4375 Hz	42.6666 ms

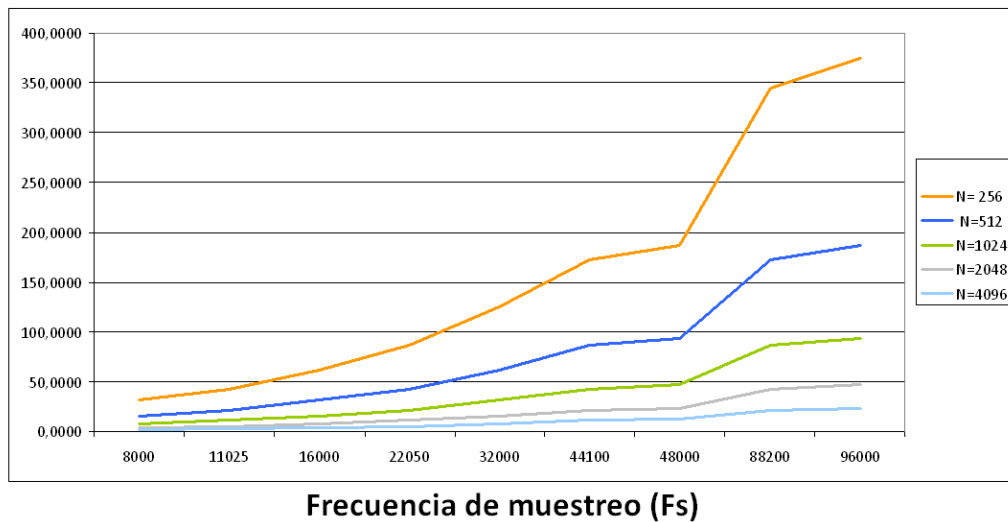
**Tabla 5.5:** Calculo de Resolución en frecuencia y tiempo de actualización en función de las diferentes frecuencias de muestreo, caso de 4096 puntos FFT (12 bits)

8192 puntos FFT (13 bits)		
Frecuencia de muestreo (Fs)	Resolución en frecuencia ( $R_e^f$ )	Tiempo de actualización ( $T = N/Fs$ )
8000	0.9765 Hz	1.024 s
11025	1.3458 Hz	0.743 s
16000	1.9531 Hz	0.512 s
22050	2.6916 Hz	0.371 s
32000	3.9062 Hz	0.256 s
44100	5.3833 Hz	185.7596 ms
48000	5.8593 Hz	170.6666 ms
88200	10.7666 Hz	92.8798 ms
96000	11.7187 Hz	85.3333 ms

**Tabla 5.6:** Calculo de Resolución en frecuencia y tiempo de actualización en función de las diferentes frecuencias de muestreo, caso de 8192 puntos FFT (13 bits)

En la figura 5.2, se representa la resolución para cada caso de captura con los diferentes puntos  $N_{DFT}$ .

### Resolución



**Figura 5.2:** Resolución en frecuencia para diferentes números de puntos FFT

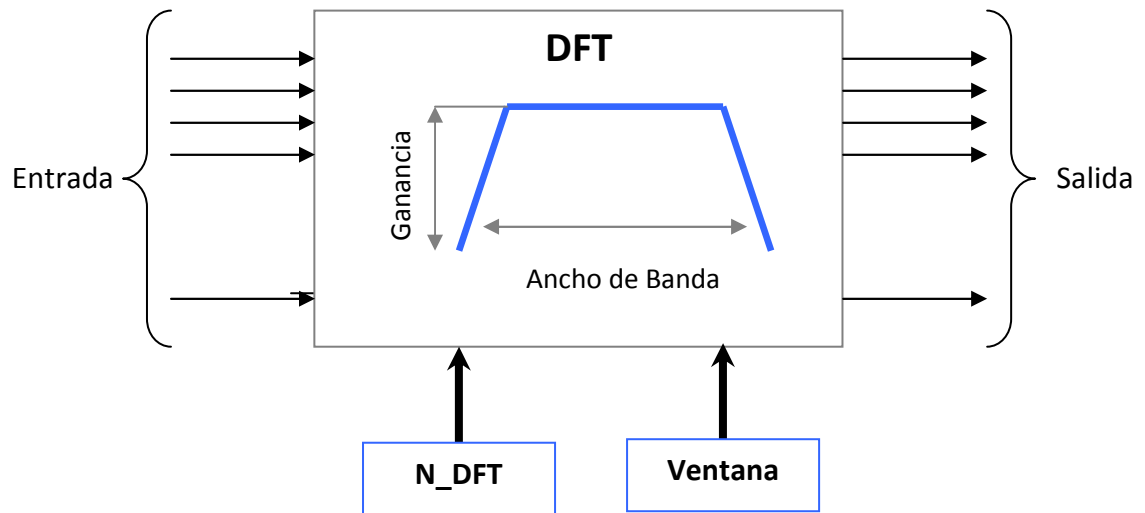
Como se puede observar en la figura 5.2 para un número de punto determinado  $N_{DFT}$ , cuando aumentamos la frecuencia de muestreo  $F_s$ , tenemos peor resolución. Cuando mantenemos la frecuencia de muestreo fija, y aumentamos el número de puntos  $N_{FFT}$ , tenemos una mejor resolución.

De esta gráfica podemos sacar la conclusión de que no siempre es bueno aumentar la velocidad de muestreo, porque al final perdemos resolución.

Es posible ver la etapa de la DFT como un tipo de filtro de paso-banda, cuya frecuencia central es la frecuencia de análisis, cuyo ancho de banda, y ganancia pueden ser modificados [LYON10].

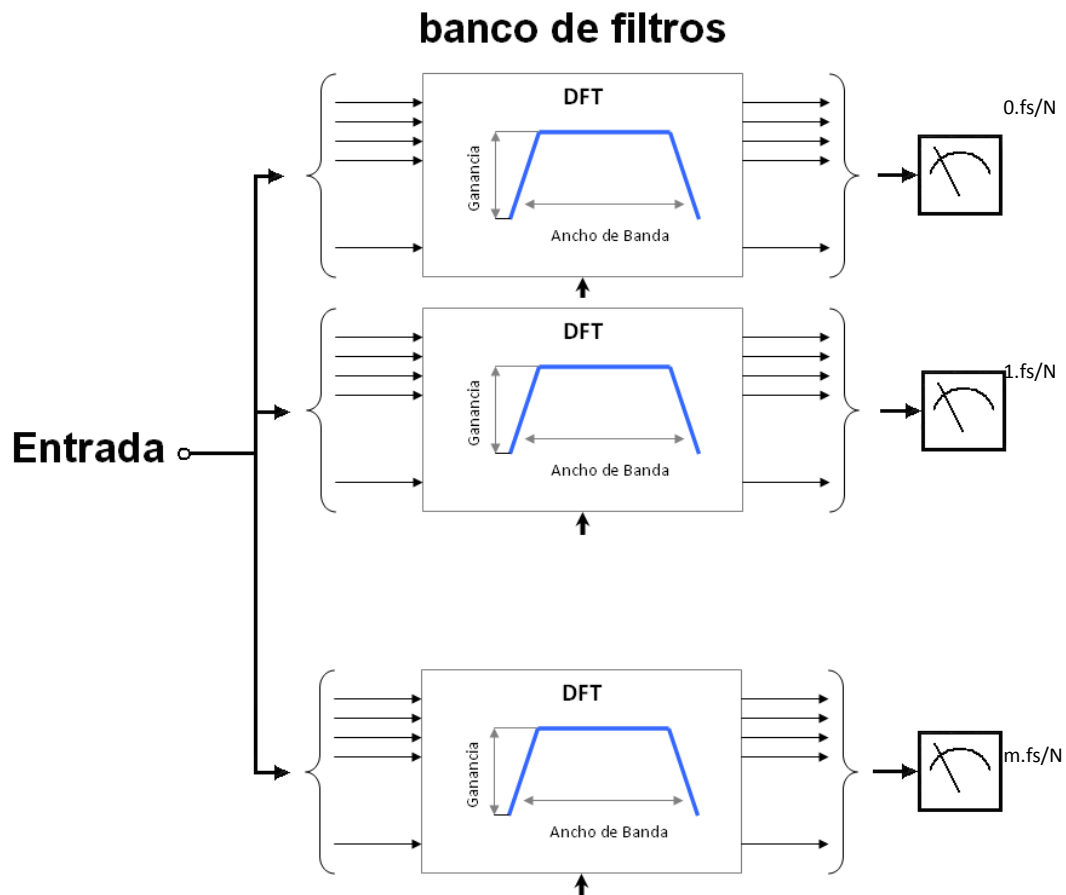
En la Figura 5.3 representamos el modelo de la DFT como si fuera un sistema de secuencia de entradas  $x(n)$ , que es una secuencia de datos que provienen del muestreo y una secuencia de salidas  $X(m)$  que son el resultado del calculo de la DFT.

Ponemos en la figura  $N\_DFT$  y ventana como parámetros que sirven para ajustar el ancho de banda y la ganancia.



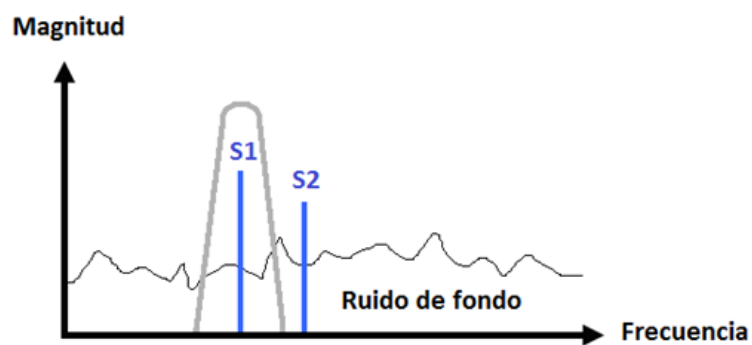
**Figura 5.3:** Modelo de cálculo del proceso de la DFT como un filtro de paso-banda en un componente de frecuencia dada.

La etapa de cálculo DFT va producir resultados en todas las frecuencias de análisis indicando cual es el valor en amplitud que existe en  $x(n)$  en la frecuencia de análisis calculada en un punto determinado  $m$ . la Figura 5.4 represente el modelo del proceso entero de calculo de la DFT.



**Figura 5.4:** Modelo calculo del proceso de la DFT como un filtro de paso banda

Cada vez que aumentamos  $N$  DFT, tenemos un ancho de banda más estrecho, lo que nos da la ventaja de aumentar la posibilidad de detectar y separar energías, porque la resolución en frecuencia es mejor cada vez que  $N$  DFT es mayor. Además de esta ventaja, la cantidad de ruido de fondo está menos presente en la medida. La Figura 5.5 muestra ejemplo de esta situación.



**Figura 5.5:** Sistema de medición de banda estrecha

Aumentar  $N$  DFT tiene la ventaja de tener más ganancia de procesamiento, eso implica la posibilidad de extraer una señal que está metida dentro de un ruido.

Utilizar menos puntos  $N_{\text{DFT}}$  reducirá la resolución, y aumentará el ancho de banda del modelo de filtro de paso banda. Esta situación se representa en la Figura 5.6.



**Figura 5.6:** Sistema de medición de banda ancha

En esta situación no podemos distinguir entre la señales de frecuencia  $S1$  y  $S2$ , por otra parte, la medida incluirá más ruido de fondo.

Podemos entonces concluir:

- La DFT puede identificar una señal que está mezclada con un ruido de fondo.
- La magnitud de la salida de la DFT aumenta cuando el tamaño  $N_{\text{DFT}}$  aumenta.
- Si el tamaño de la DFT aumenta el lóbulo principal es más estrecho
- La relación señal/ruido de la salida de la DFT aumenta si  $N_{\text{DFT}}$  aumenta de acuerdo con la relación siguiente [LYON10].

$$SNR_N = SNR_{N'} + 10\log\left(\frac{N}{N'}\right) \quad (5.2)$$

La ecuación 5.2 significa que si incrementamos el tamaño de la DFT de un tamaño  $N'$  a otro tamaño  $N = 2N'$ , la SNR de la DFT aumenta 3dB.

La ganancia de procesamiento aumenta 3dB cada vez que el tamaño  $N_{\text{DFT}}$  es multiplicado por 2.

Vemos ejemplos utilizando nuestro sistema de medición desarrollado en esta Tesis para validar lo explicado en este capítulo. Se realiza una serie de mediciones de una señal sinusoidal de frecuencia 300 Hz, modulando en AM a una portadora de 8 kHz, y muestreada a 48 kHz. Utilizamos una ventana Hamming.

En el caso de la Figura 5.7, se representa el resultado de tomar 256 N puntos DFT y representamos los 128 primeros puntos, mientras que en la Figura 5.8, aplicamos un zoom para ver lo ocurrido con precisión.

Se observa que esta medida nos da la información de que tenemos en la entrada una señal de frecuencia de 8.013 kHz.

En la Figura 5.9, aumentamos el número de puntos tomado de N\_DFT desde 256 hasta 512 puntos. A continuación en la Figura 5.10, vemos que la forma del lóbulo principal ha cambiado, con tendencia de indicar que allí están presentes más señales, pero es difícil decidir si esta situación se debe a la aparición de ruido o la presencia de otros componentes de frecuencia cerca del lóbulo principal.

La Figura 5.11 y 5.12 representa el caso de tomar 1024 puntos N\_DFT, donde se puede ver y afirmar que la señal presente en la entrada contiene más de un componente de frecuencia.

Aumentamos más el tamaño de la DFT hasta 4096 puntos, se obtiene la señal representada en la Figura 5.13 y 5.14. Ahora podemos ver con más precisión que se obtiene un lóbulo principal centrado en la frecuencia de 8 kHz, con dos bandas laterales, una a la derecha de frecuencia 8.3 kHz, e otra a la izquierda con frecuencia de 7.7 kHz.

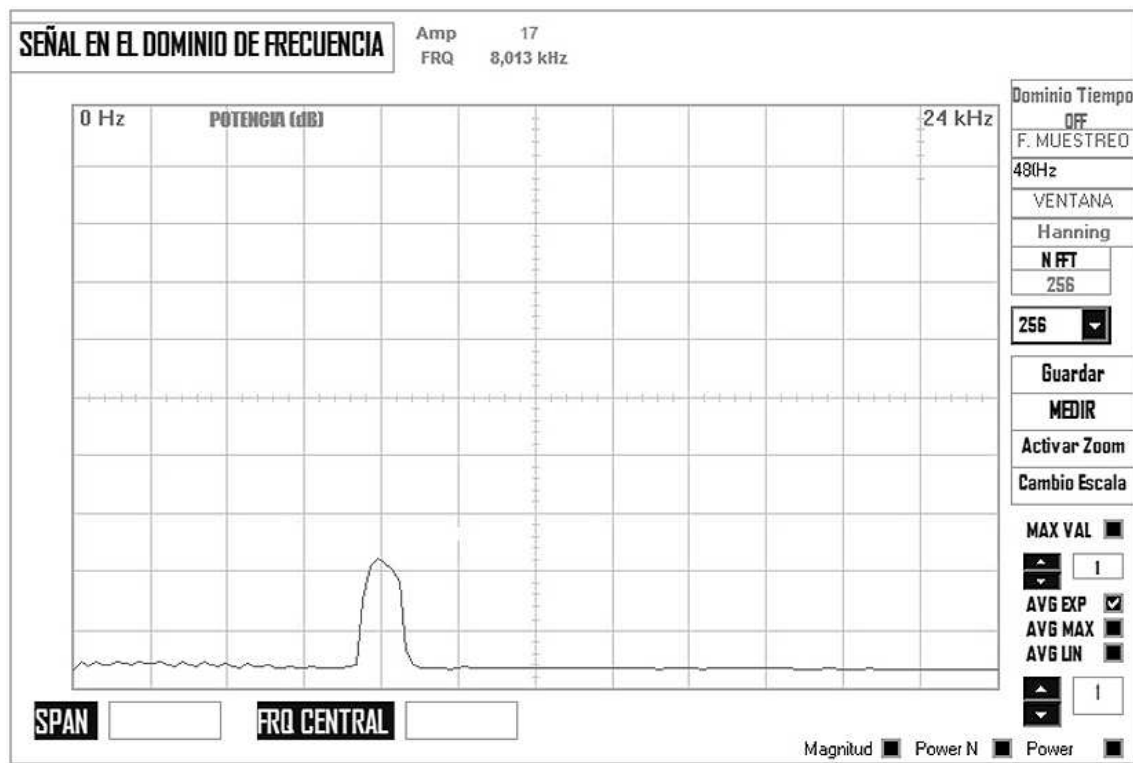


Figura 5.7: Resultado de medición de 256 puntos N\_DFT de una señal sinusoidal de frecuencia 300 Hz, modulando en AM a una portadora de 8 kHz, y muestreada a 48 kHz

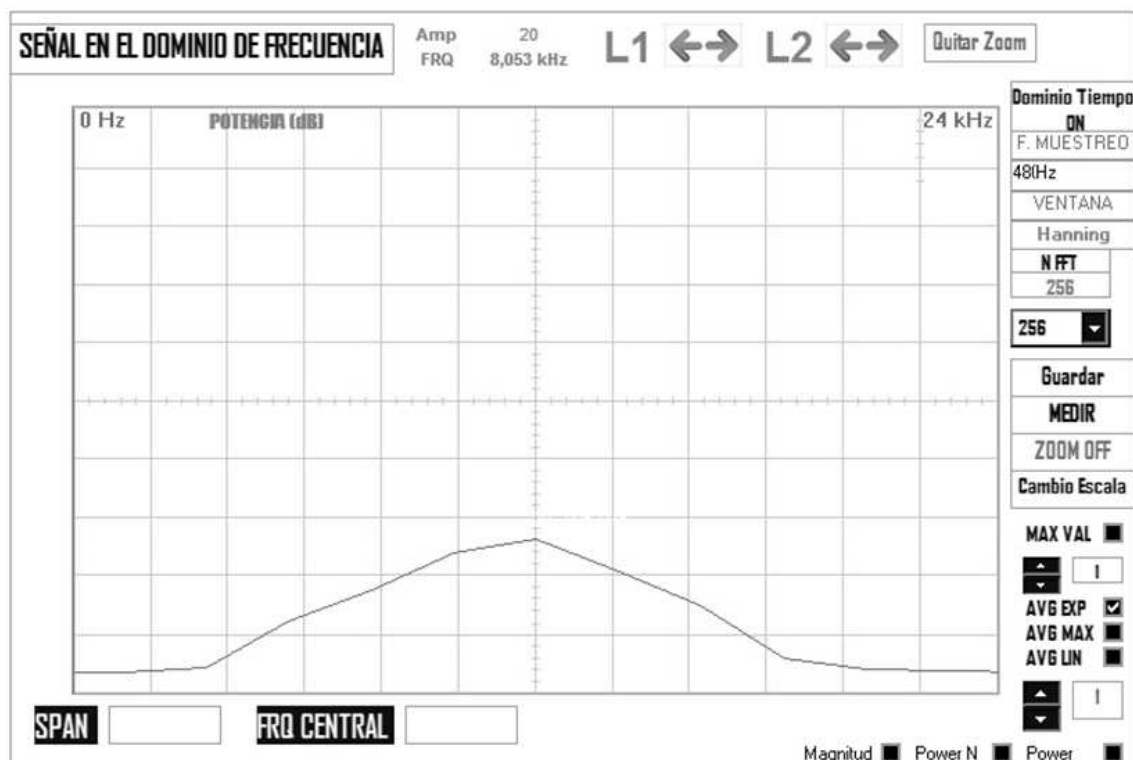
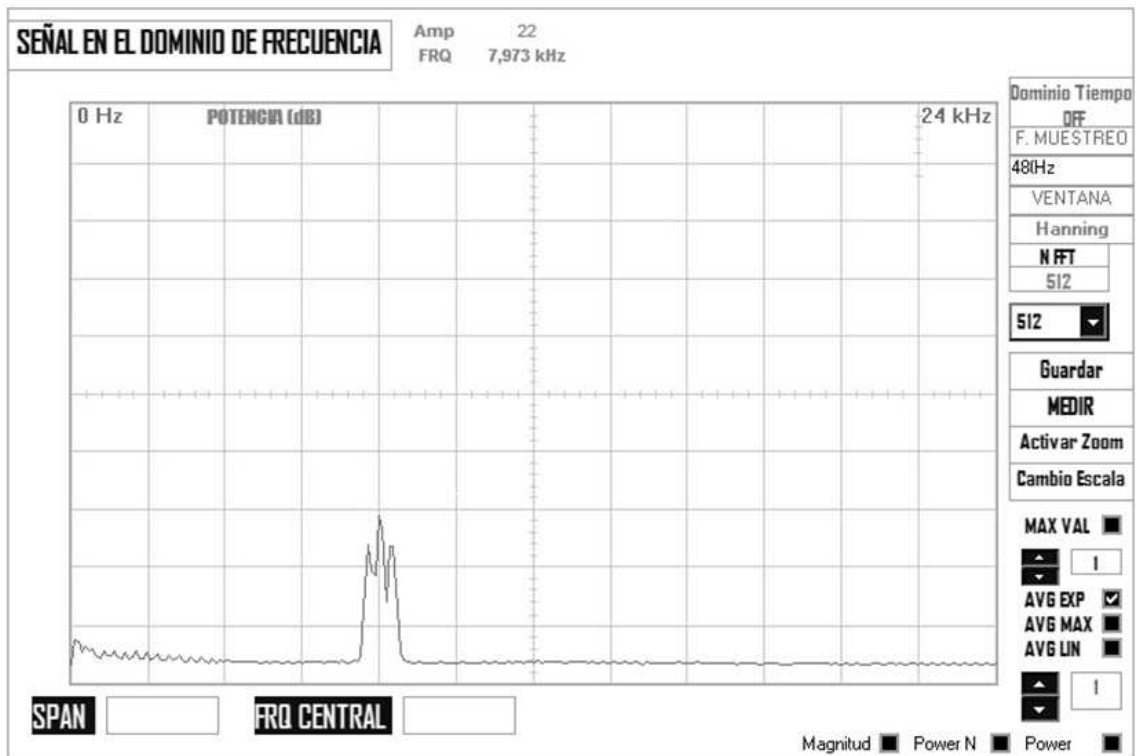
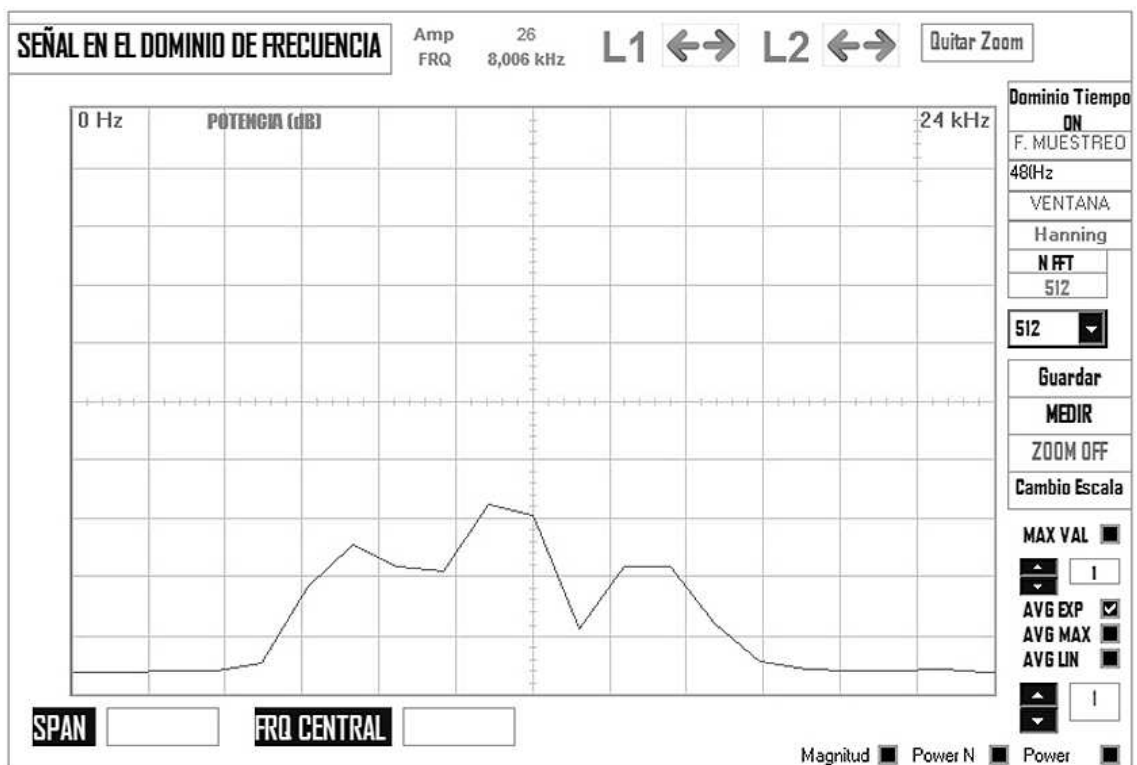


Figura 5.8: Aplicando Zoom al resultado de medición de 256 puntos N\_DFT de una señal sinusoidal de frecuencia 300 Hz, modulando en AM a una portadora de 8 kHz, y muestreada a 48 kHz

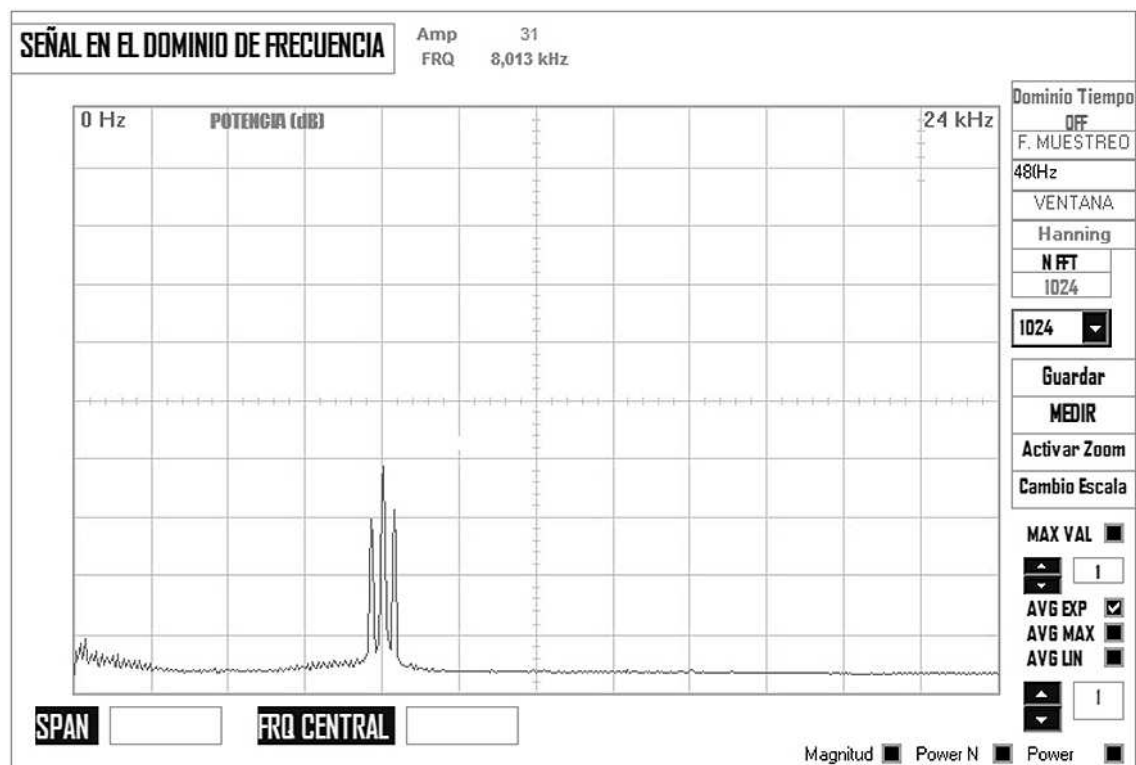




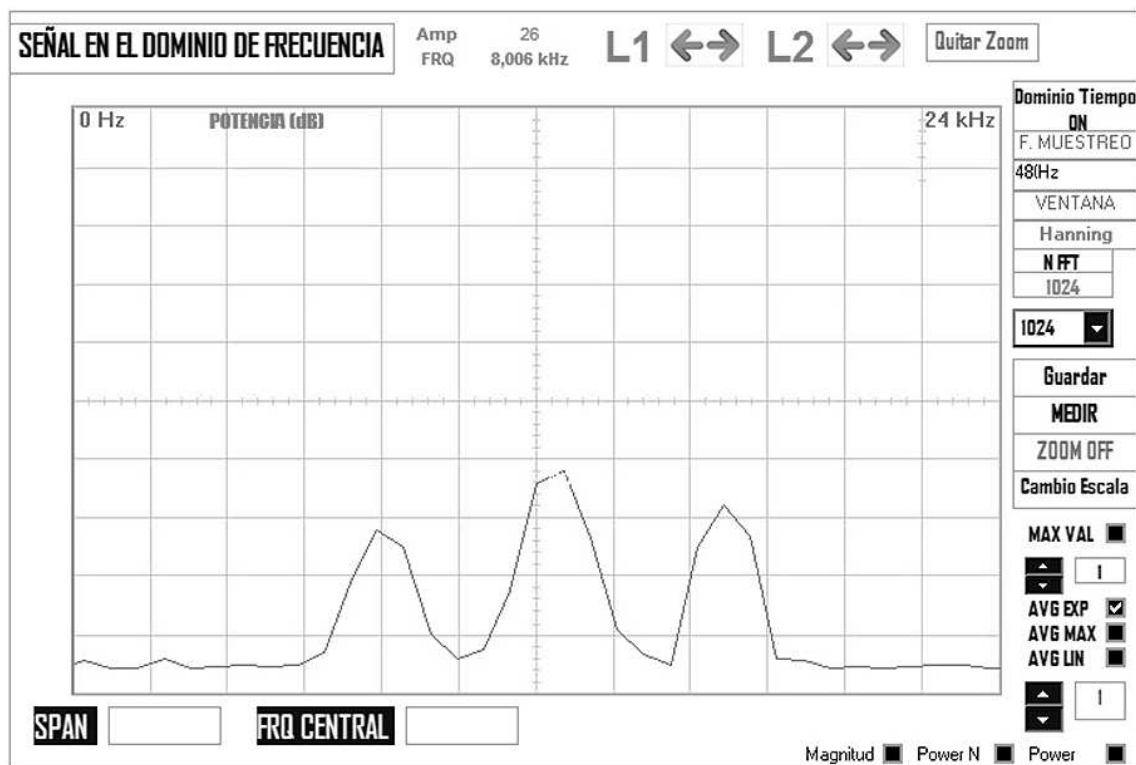
**Figura 5.9:** Resultado de medición de 512 puntos N\_DFT de una señal sinusoidal de frecuencia 300 Hz, modulando en AM a una portadora de 8 kHz, y muestreada a 48 kHz



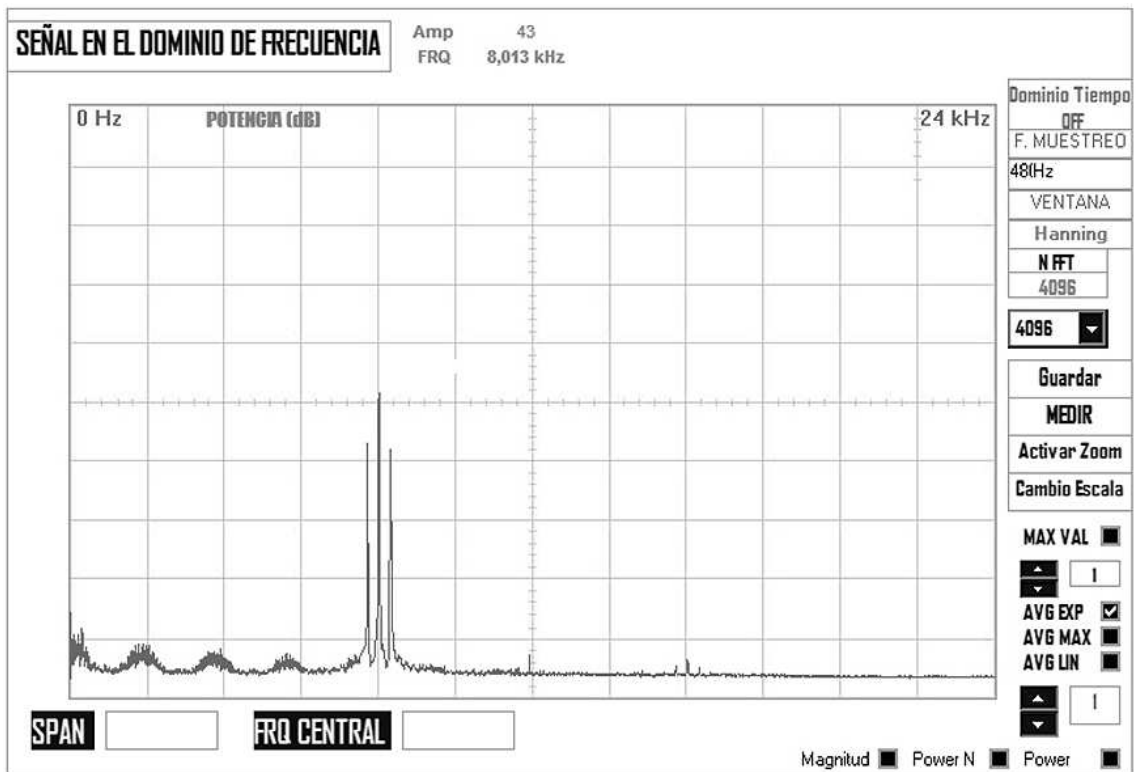
**Figura 5.10:** Aplicando un zoom al resultado de medición de 512 puntos N\_DFT de una señal sinusoidal de frecuencia 300 Hz, modulando en AM a una portadora de 8 kHz, y muestreada a 48 kHz



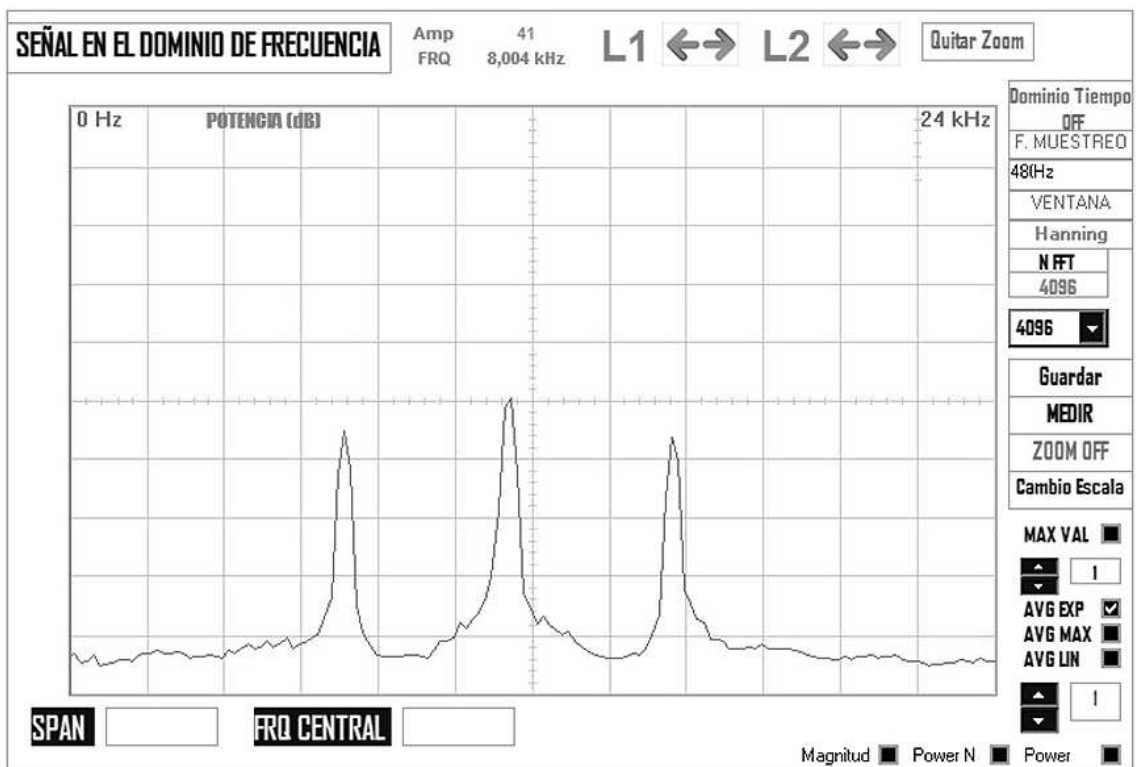
**Figura 5.11:** Resultado de medición de 1024 puntos N\_DFT de una señal sinusoidal de frecuencia 300 Hz, modulando en AM a una portadora de 8 kHz, y muestreada a 48 kHz



**Figura 5.12:** Aplicando un zoom al resultado de medición de 1024 puntos N\_DFT de una señal sinusoidal de frecuencia 300 Hz, modulando en AM a una portadora de 8 kHz, y muestreada a 48 kHz



**Figura 5.13:** Resultado de medición de 4096 puntos N\_DFT de una señal sinusoidal de frecuencia 300 Hz, modulando en AM a una portadora de 8 kHz, y muestreada a 48 kHz



**Figura 5.14:** Aplicando un zoom al resultado de medición de 4096 puntos N\_DFT de una señal sinusoidal de frecuencia 300 Hz, modulando en AM a una portadora de 8 kHz, y muestreada a 48 kHz

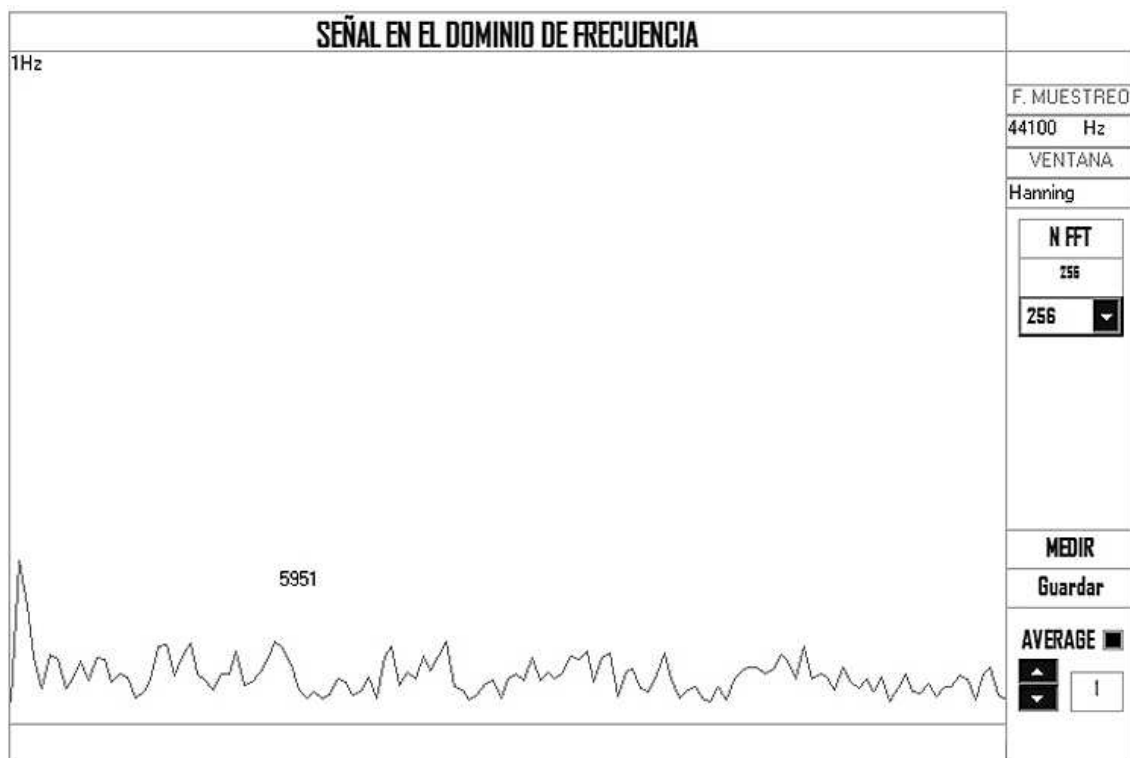
Aumentar el tamaño de la DFT tiene la ventaja de tener más ganancia de procesamiento [LYON10] Esto implica la posibilidad de extraer una señal que esta metida dentro del ruido. El factor SNR de la salida de la DFT aumenta cuando el tamaño de la DFT aumenta.

Demostramos esto mediante las siguientes medidas realizadas con nuestro sistema de medición. La Figura 5.15 es la medición de una señal sinusoidal de frecuencia 6 kHz, recibida a través del receptor IC-PCR1000. Representamos los 128 puntos de salida del cálculo de la DFT. Se nota que es muy difícil detectar la señal de entrada 6 kHz porque se presenta mucho ruido. Si cambiamos el tamaño de la DFT a 512, se puede observar la aparición de alguna señal de entrada cerca de 6 kHz, ver Figura 5.16.

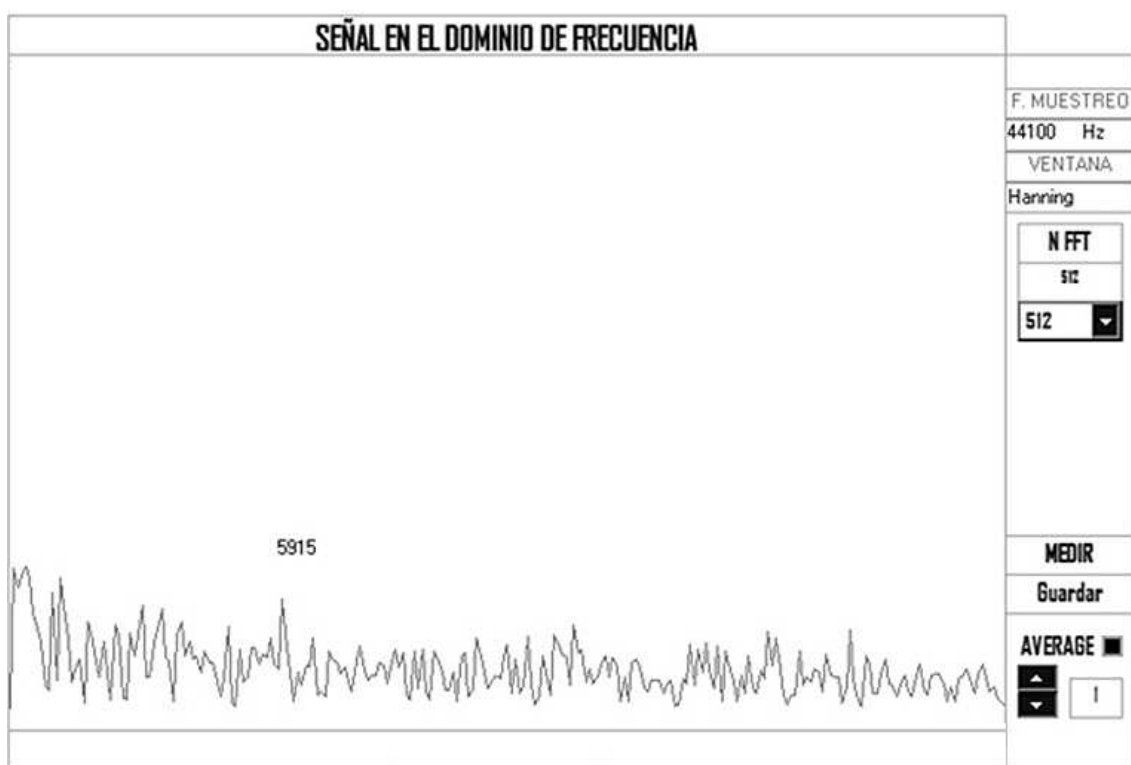
Si aumentamos más el número de  $N_{DFT}$  a 1024 y 2048 se obtienen los resultados que se presentan a continuación en las figuras 5.17 y 5.18. Como se puede observar, la amplitud de la componente de la frecuencia aumenta cuando el número de puntos  $N_{DFT}$  aumenta. También vemos que el lóbulo principal es más estrecho.

La relación señal-ruido (SNR) se define [LYON10] como el nivel de la señal de salida de la DFT sobre la media del nivel de potencia de ruido de salida.

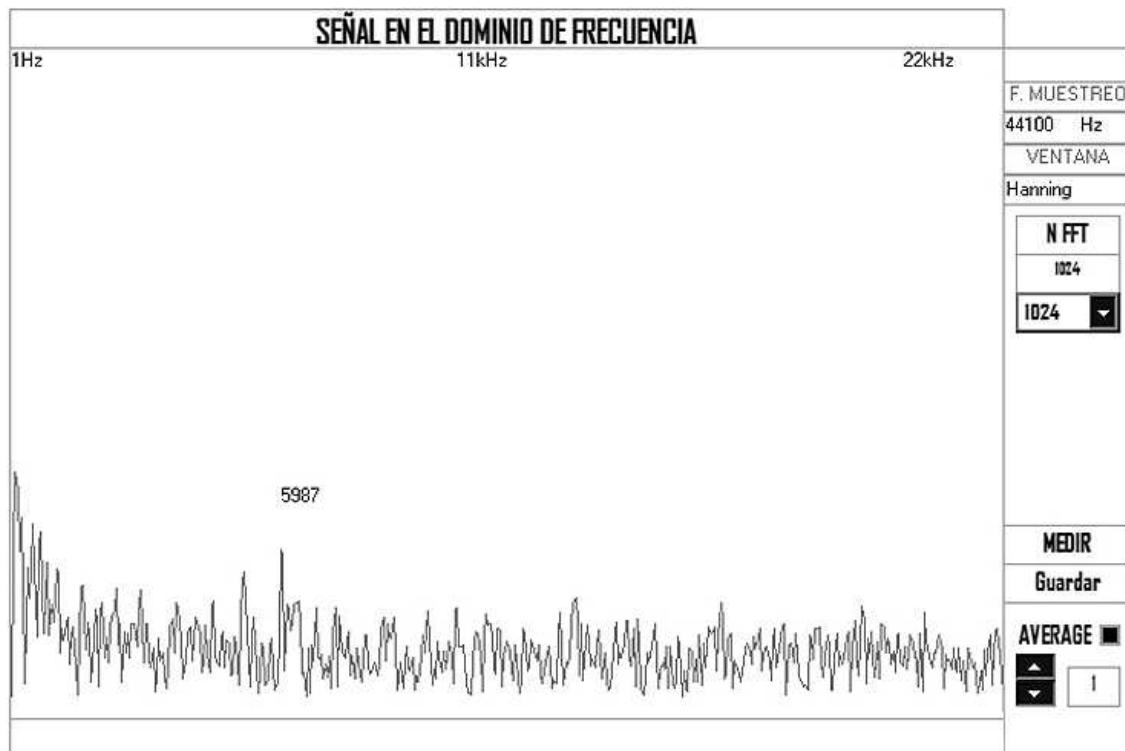
La Figura 5.18 muestra también que el SNR aumenta cuando aumentamos el tamaño de la DFT. El efecto *leakage* también tiene el efecto de incrementar el ruido de fondo eficaz y reduce la SNR de la salida DFT.



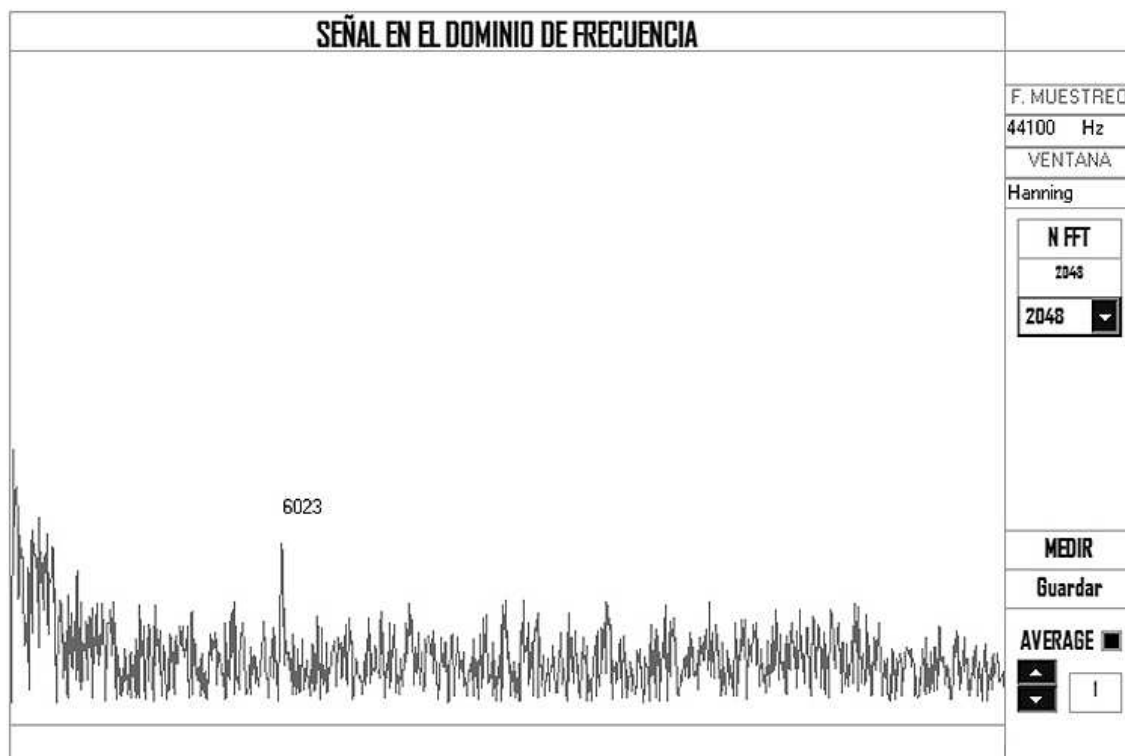
**Figura 5.15:** Medición de una señal sinusoidal de frecuencia 6 kHz, recibida a través del receptor IC-PCR1000, caso de tomar 256 puntos FFT



**Figura 5.16:** Medición de una señal sinusoidal de frecuencia 6 kHz, recibida a través del receptor IC-PCR1000, caso de tomar 512 puntos FFT



**Figura 5.17:** Medición de una señal sinusoidal de frecuencia 6 kHz, recibida a través del receptor IC-PCR1000, caso de tomar 1024 puntos FFT

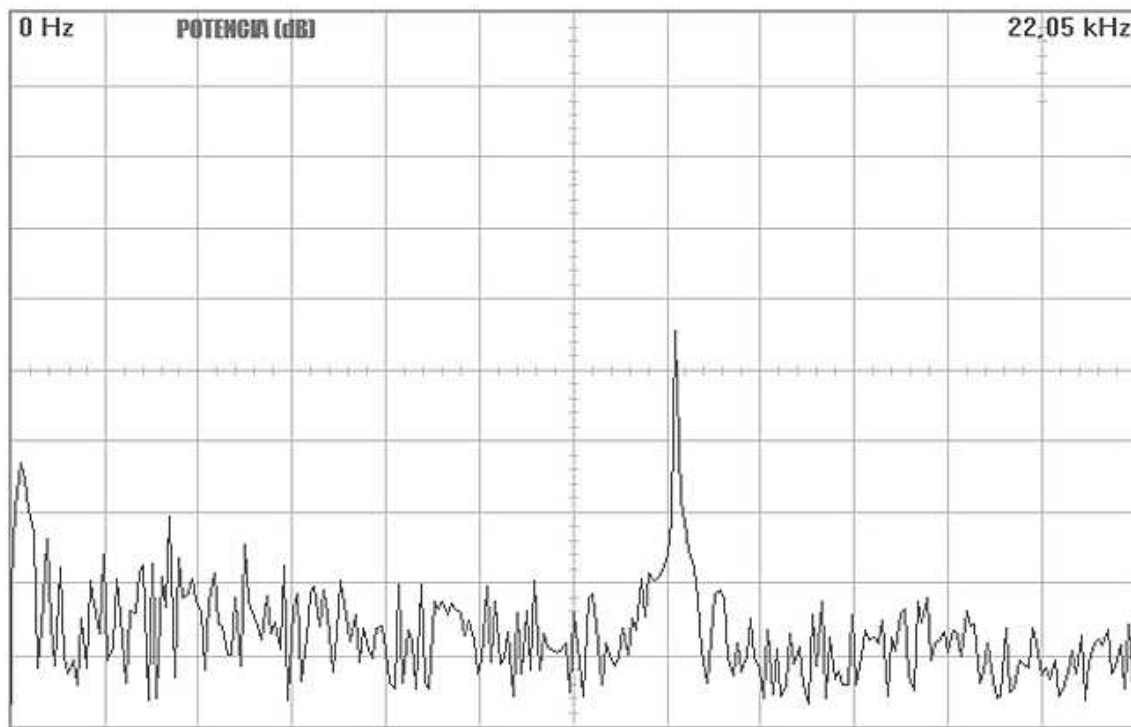


**Figura 5.18:** Medición de una señal sinusoidal de frecuencia 6 kHz, recibida a través del receptor IC-PCR1000, caso de tomar 2048 puntos FFT

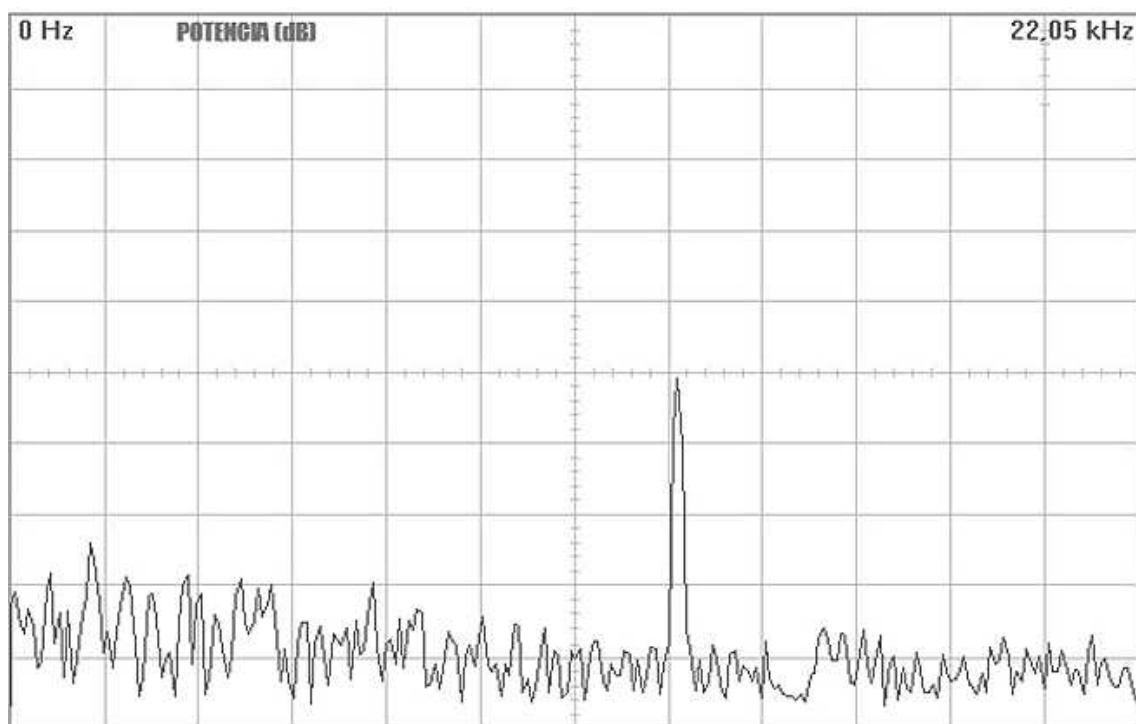
### 5.3- ENVENTANADO

A continuación mostramos la reducción del efecto leakage según las ventanas disponibles en nuestro programa.

Poniendo un ejemplo midiendo el efecto de *leakage*. Se mide una señal sinusoidal de frecuencia 13 kHz modulando a una portadora de 9 MHz recibida en el IC-PCR1000 y demodulada en AM. La Figura 5.19 muestra la señal obtenida en el dominio de frecuencia sin ninguna ventana aplicada (ventana rectangular), mientras que la Figura 5.20, muestra como la ventana; en este caso una ventana Hanning, reduce el efecto de leakage.



**Figura 5.19:** Representación del efecto leakage en análisis de señales a tiempo real utilizando nuestro metodo, caso de medición sin aplicar ventana



**Figura 5.20:** Representación del efecto leakage en análisis de señales a tiempo real utilizando nuestro metodo, caso de medición aplicando la ventana Hanning

La aplicación de una ventana reduce el efecto de *leakage*, pero al mismo tiempo reduce la magnitud de la salida, por esta razón, es necesario multiplicar la señal por un factor de escala [HAR 78], [SOL94]. La Tabla 5.7 muestra los diferentes factores de escala para las diferentes ventanas utilizadas en nuestro sistema de medición.

Ventana	Factor de escala
Rectangular	1
Hamming	0.54
Blackman	0.42
Blackman-Harris	0.42
Hanning	0.50

**Tabla 5.7:** Factor de escala par alas diferentes ventanas utilizadas en la Tesis

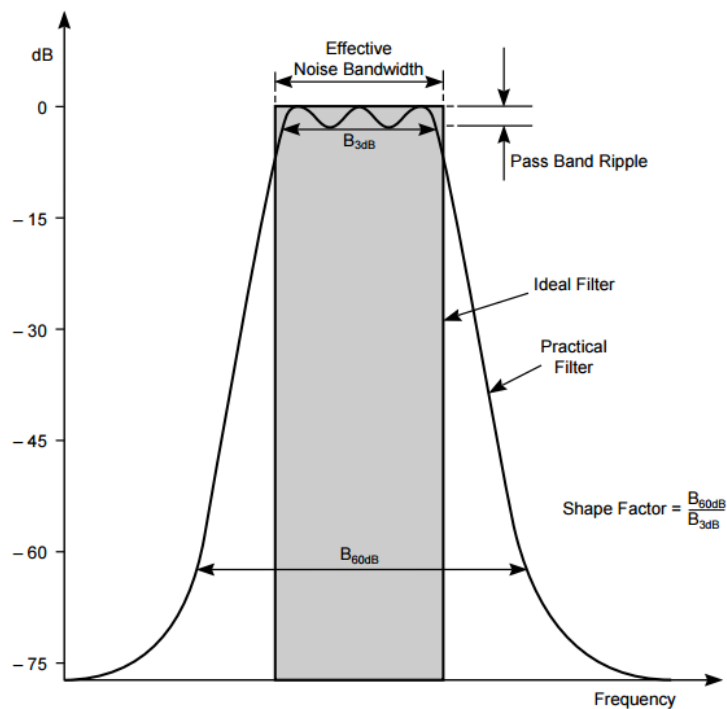
También se puede observar, en la figura 5.19, que el lóbulo principal en el caso de la ventana rectangular es más estrecho que el lóbulo principal de la señal de la figura 5.20, esto es debido al efecto que causa la aplicación de ventanas, en aumentar la anchura de banda efectiva por un factor conocido como potencia de ruido equivalente del ancho de banda de la ventana [HAR 78], [SOL94], [GADE et alii 11], [LFEA 02].



El ruido equivalente del ancho de banda de la ventana, ENBW (Equivalent Noise BandWidth) es la anchura de la respuesta espectral de una función rectangular ideal que hará pasar la misma potencia de ruido como la ventana bajo prueba (Ver figura 5.21). Está definido por la ecuación 5.3 [LFEA 02].

El ENBW es un factor importante para las ventanas, y hay que tenerlo en cuenta a la hora de medir señal en banda estrecha.

$$ENBW = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} w^2(n)}{\left| \sum_{n=0}^{N-1} w(n) \right|^2} \quad (5.3)$$



**Figura 5.21:** Potencia de ruido equivalente del ancho de banda de la ventana  
Ilustración cedida por cortesía de [GADE et alii 11]

La Tabla 5.8 muestra los diferentes factores ENBW para las diferentes ventanas utilizadas en nuestro sistema de medición [HAR 78].

Ventana	ENBW
Rectangular	1
Hamming	1.36
Blackman	1.73
Blackman-Harris	1.71
Hanning	1.50
Triangular	1.33

**Tabla 5.8:** ENBW para las diferentes ventanas utilizadas en nuestro sistema de medición.

### 5.3.1- Reducción del efecto leakage (Ventanas)

A continuación se realiza una serie de mediciones con nuestro método por el fin de mostrar el efecto que produce cada ventana a una señal que generamos utilizando el Generador de señales PCE-SDG1010. Se utiliza como señal de entrada una señal sinusoidal de frecuencia 1kHz y amplitud 900 mVpp.

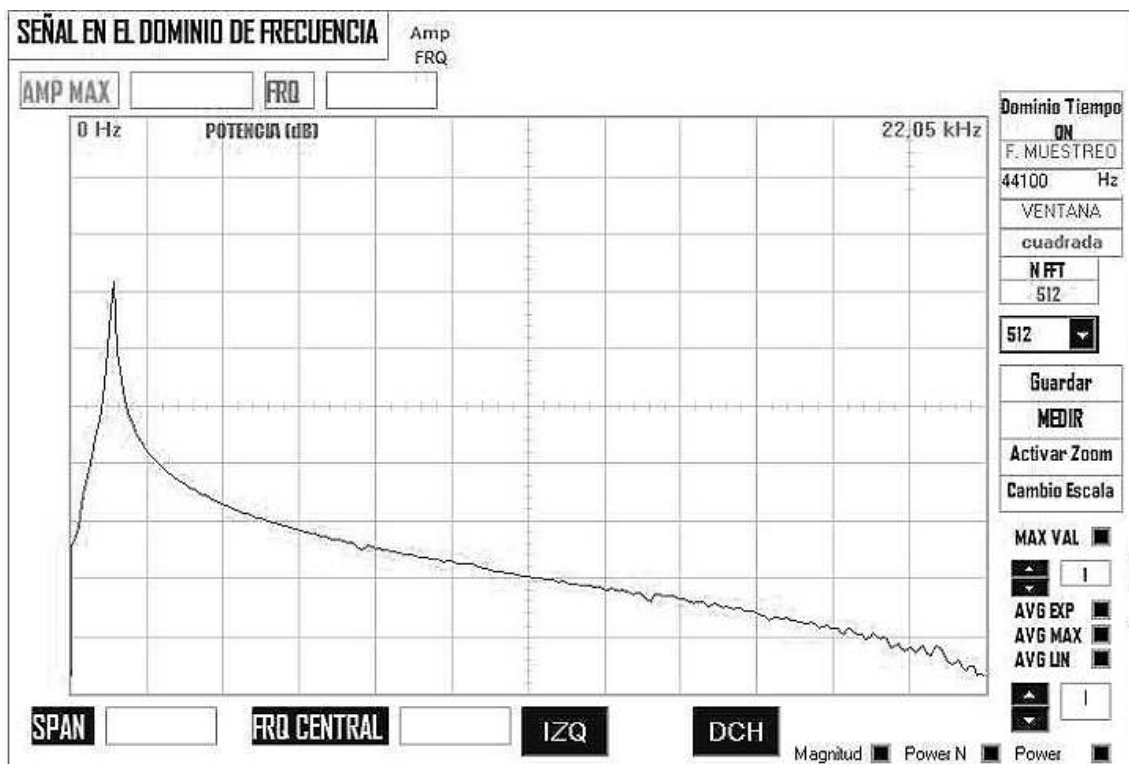


Figura 5.22: Señal de Referencia

Al medir una señal sinusoidal, teóricamente la energía debe ser concentrada sólo en la frecuencia de la señal sinusoidal de entrada, a saber 1kHz. Pero como se puede observar en la figura 5.22, la señal recibida presenta una difusión de energía en toda la banda del espectro. Esta difusión de energía, se llama "fuga espectral" o bien leakage, Eso pasa porque realmente la DFT se está tomada en puntos finitos y eso causa discontinuidad en los límites del corte de la señal. Realmente la señal se mide en tiempo (o intervalo) finito.



Figura 5.23: Señal de Referencia aplicada a la ventana Hamming

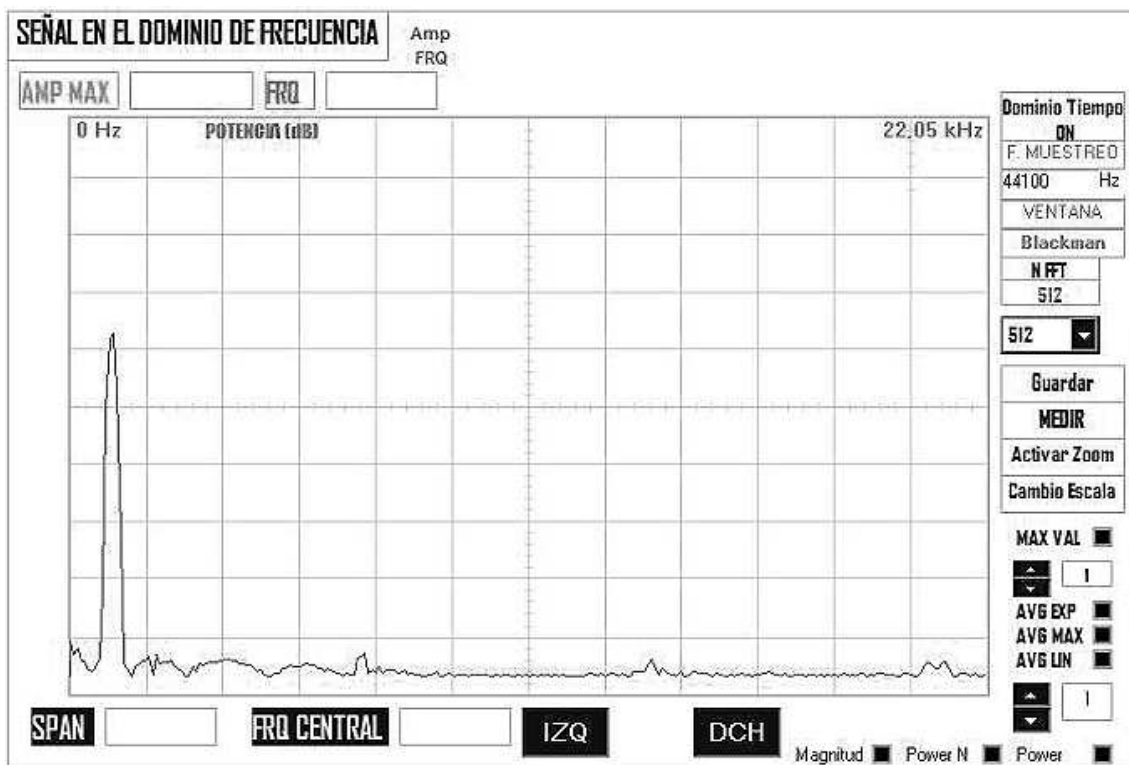


Figura 5.24: Señal de Referencia aplicada a la ventana Blackman

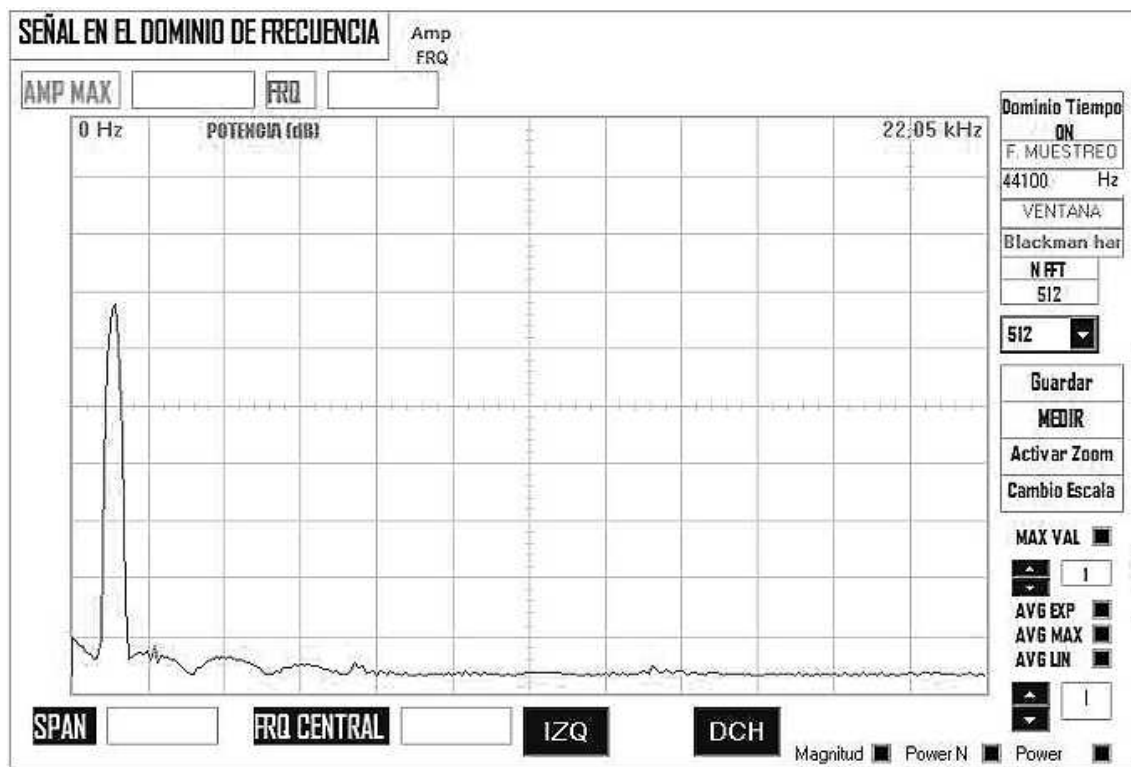


Figura 5.25: Señal de Referencia aplicada a la ventana Blackman Harris



Figura 5.26: Señal de Referencia aplicada a la ventana Triangular

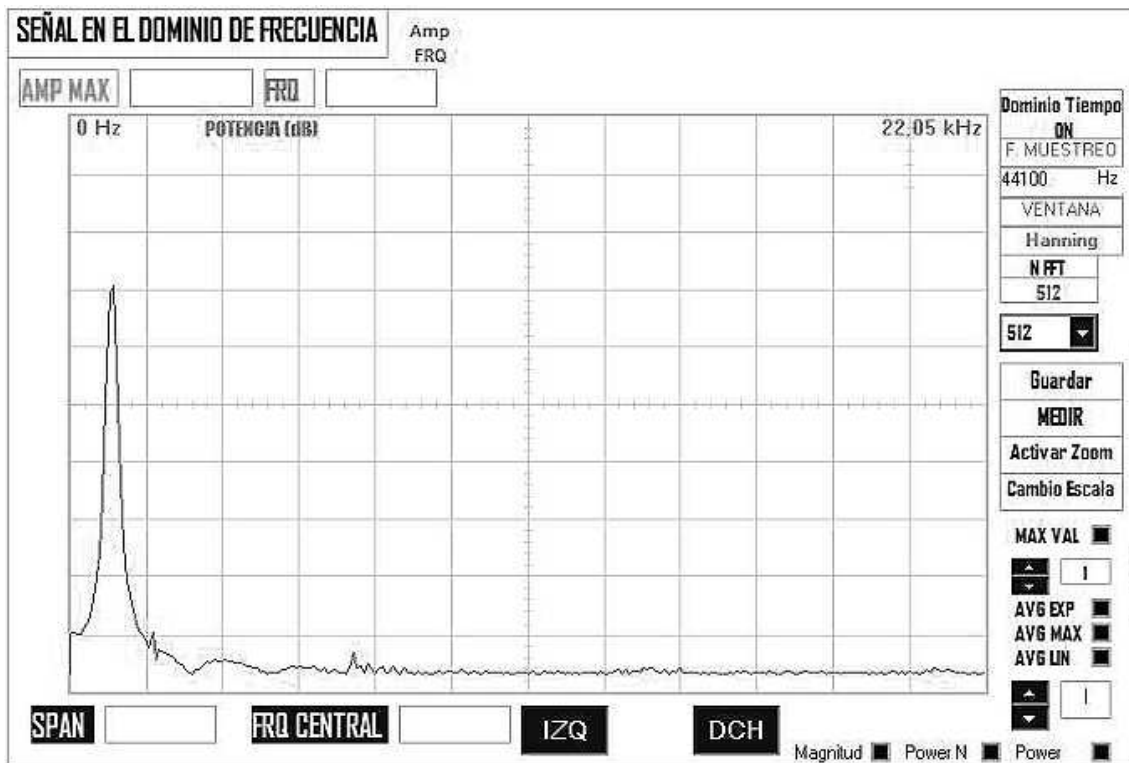


Figura 5.27: Señal de Referencia aplicada a la ventana Hanning

## 5.4- PROMEDIADO

### 5.4.1- Introducción

Debido al ruido que puede estar presente en la señal, es difícil extraer la señal de interés del ruido, sobretodo, cuando el nivel de la señal de interés es casi igual al nivel de ruido. Una de las mejoras que se puede aplicar a nuestro método es tomar varias muestras y después calcular la media del resultado. Esto puede ser realizado promediando las líneas espectrales obtenidas después del proceso de la FFT. Esta técnica permite reducir el nivel de ruido de fondo, pero el tiempo de procesamiento aumenta mucho.

### 5.4.2- Promediado lineal

Para demostrar el efecto del promediado tipo lineal implementado, se pone a continuación el ejemplo de medición de una señal de entrada de 13kHz, con amplitud de 40mVpp con la fuente de alimentación conectada al PC por el fin de tener el ruido de esta fuente añadido a la señal a medir, y después aplicar la función de promediado lineal para ver su efecto en reducir el ruido y permitir identificar mejor la señal de interés.

En la figura 5.28, se pone el resultado de la medición sin aplicar el promediado, mientras en la figura 5.29 se aplica el promediado.

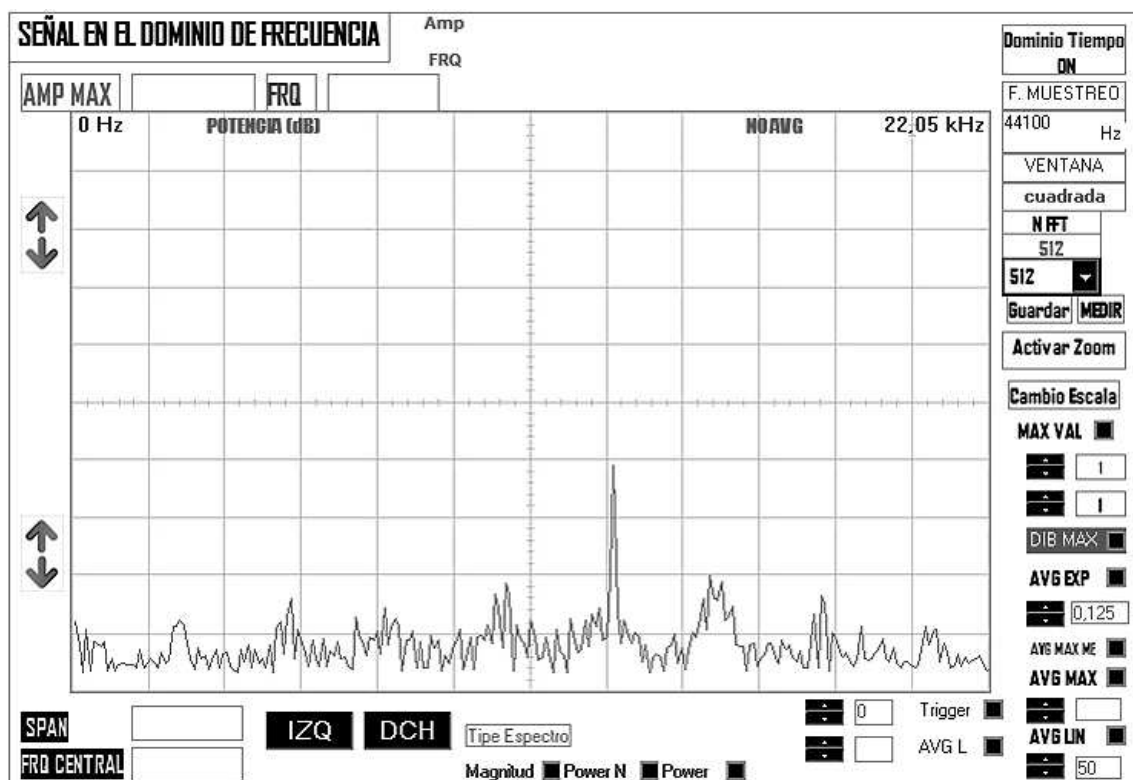


Figura 5.28: AVG tipo lineal de una señal de entrada de 13kHz , 40mVpp con la fuente de alimentación conectada al PC, Sin promediado

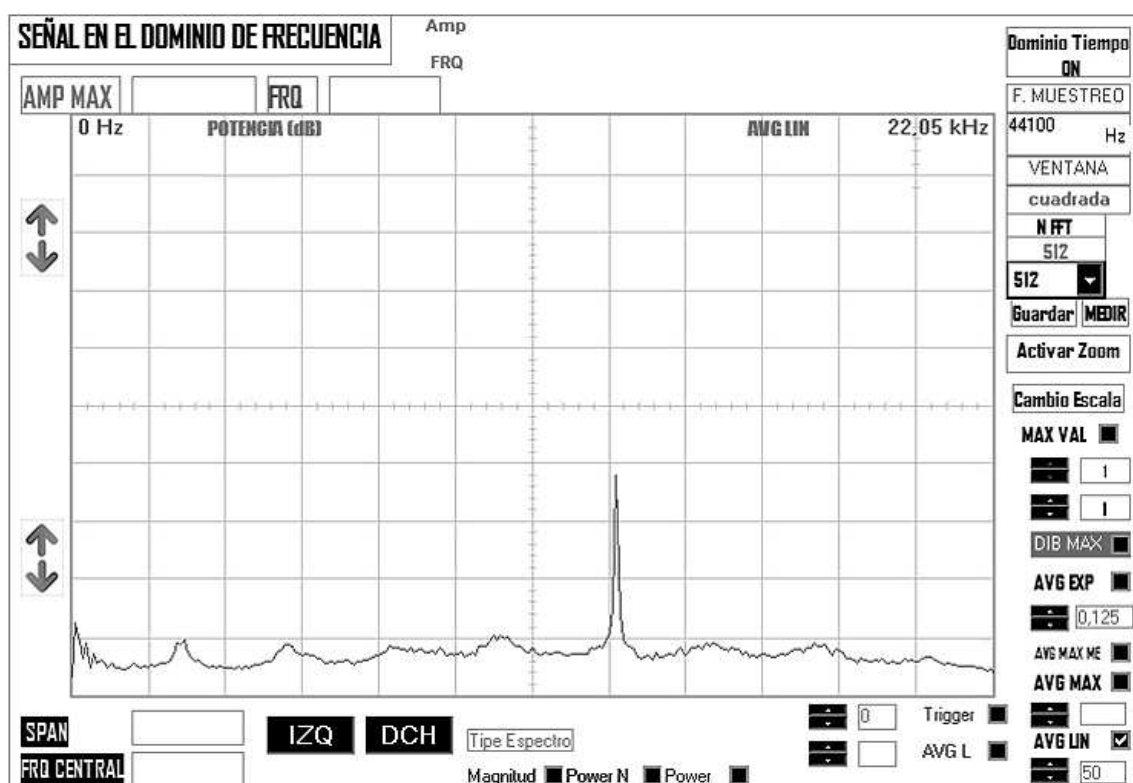


Figura 5.29: AVG tipo lineal de una señal de entrada de 13kHz , 40mVpp con la fuente de alimentación conectada al PC, Sin promediado

### 5.4.3- Promediado exponencial

En esta parte se presentan mediciones para demostrar el efecto del promediado exponencial programado en nuestro método de medición.

Se presenta el primer ejemplo de medición de interferencia electromagnética EMI en un equipo de climatización. La figura 5.28 presenta el resultado de la medición sin aplicar ningún tipo de promediado, mientras en la figura 5.29 presenta el resultado de la medición aplicando un promediado de tipo exponencial con  $\alpha=0,125$ .

Como se puede comprobar, el efecto del promediado, reduce el ruido de fondo y permite sacar la señal de interés con claridad.

En otro ejemplo de análisis de una señal recibida por el receptor IC-PCR1000 en la que la señal sin ningún promediado está representada en la figura 5.30. Es muy difícil decidir que hay en esta señal por la presencia del ruido de fondo.

La figura 5.31 muestra el resultado después de aplicar promediado tipo exponencial con coeficiente  $\alpha = 0.02$  obtenemos con sorpresa, que aparece la señal claramente.

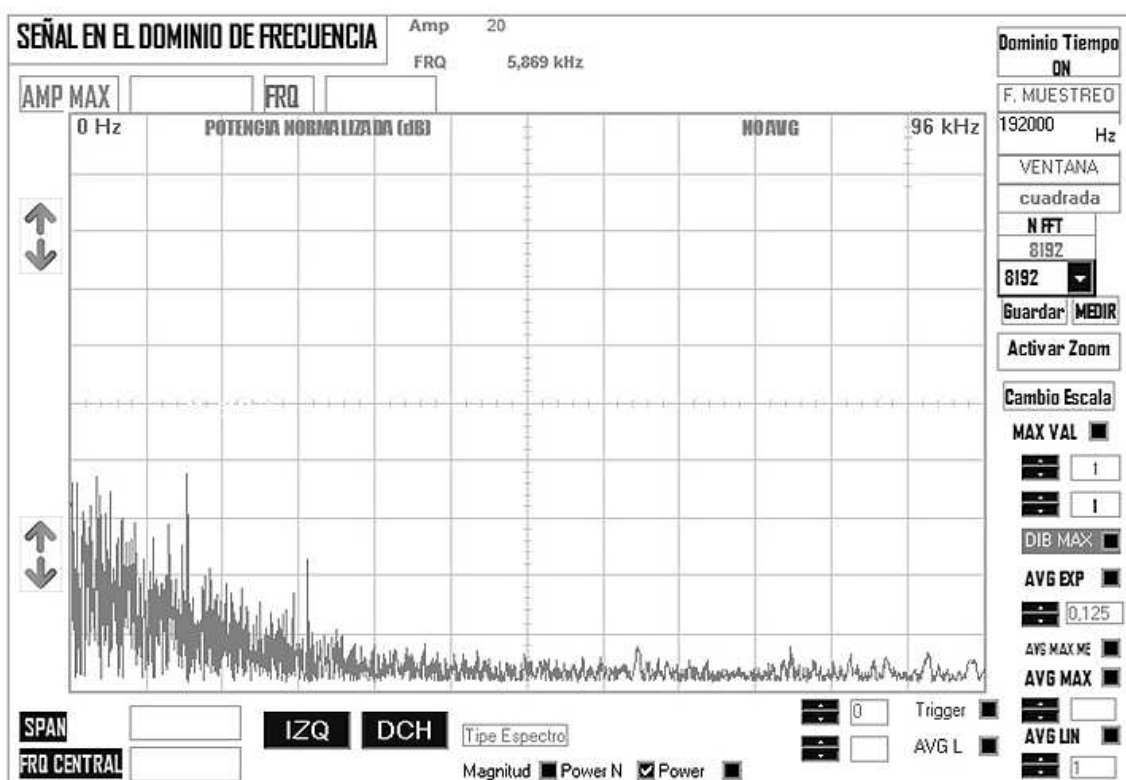


Figura 5.28: Resultado de medición de interferencias electromagnéticas EMI producidas por un equipo. Sin aplicar ningún tipo de promediado

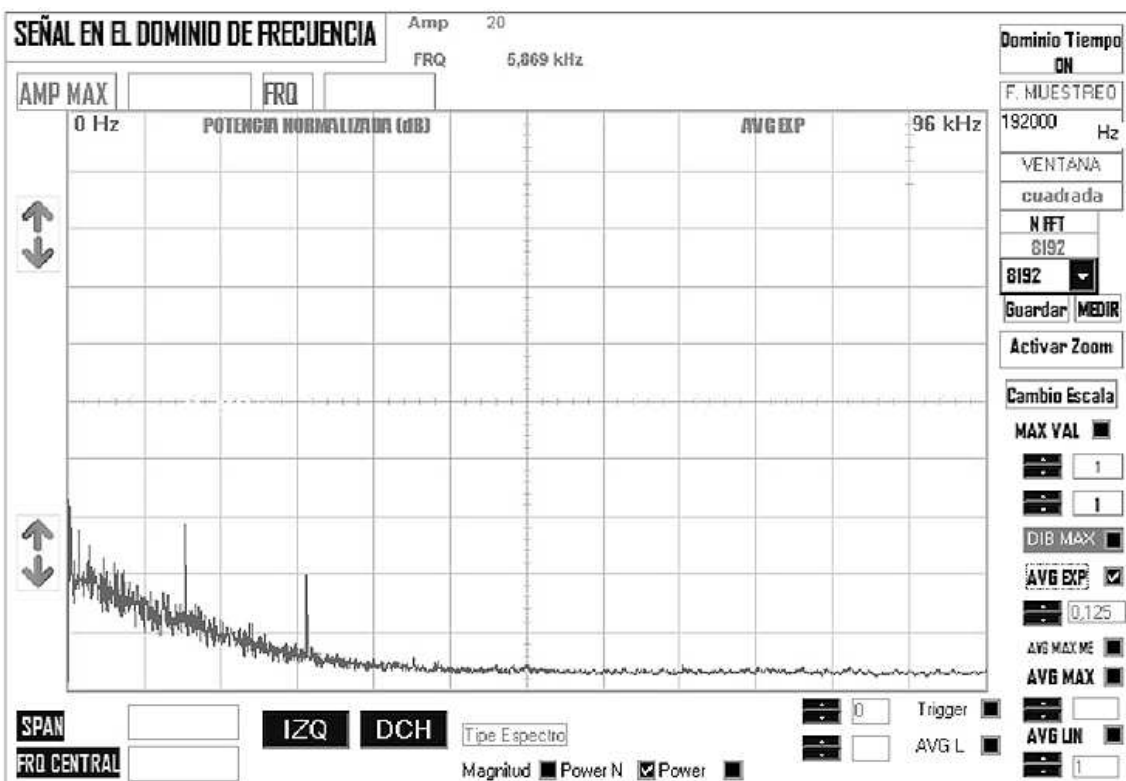


Figura 5.29: Resultado de medición de interferencias electromagnéticas EMI producidas por un equipo. Aplicando un promediado tipo exponencial con parámetro  $\alpha=0,125$



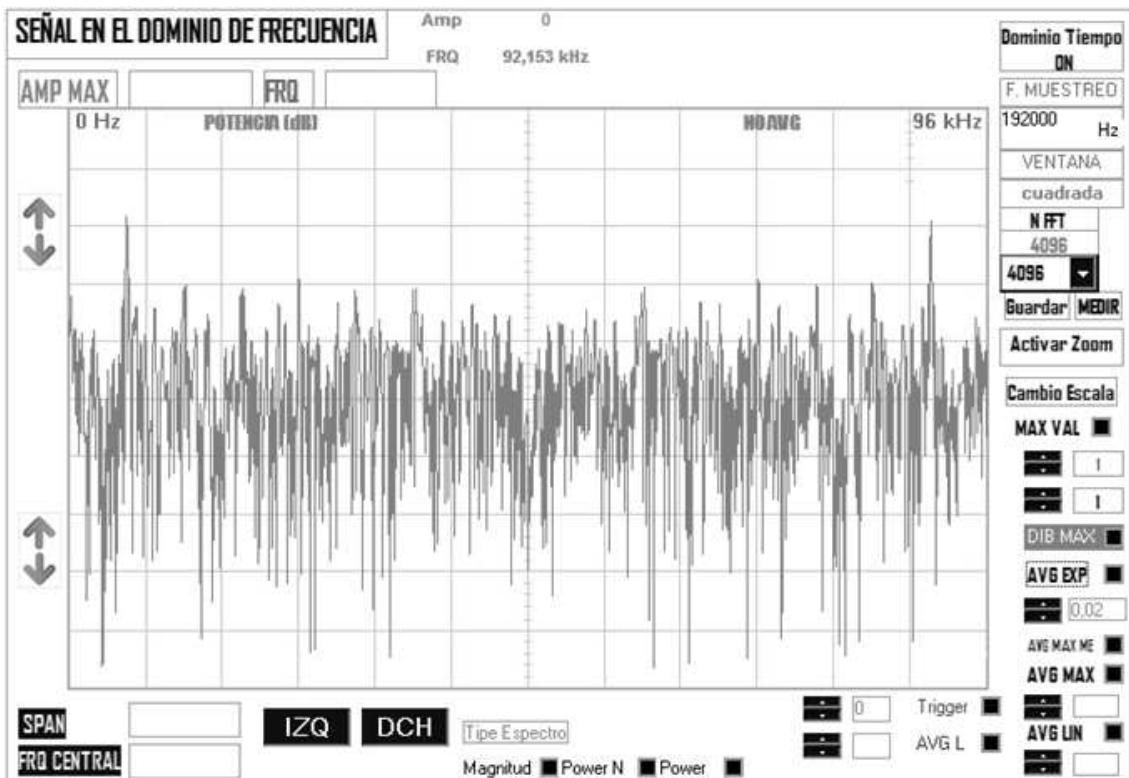


Figura 5.30: Medición sin promediado aplicado: Imposible saber en esta señal que frecuencias tenemos presentes.

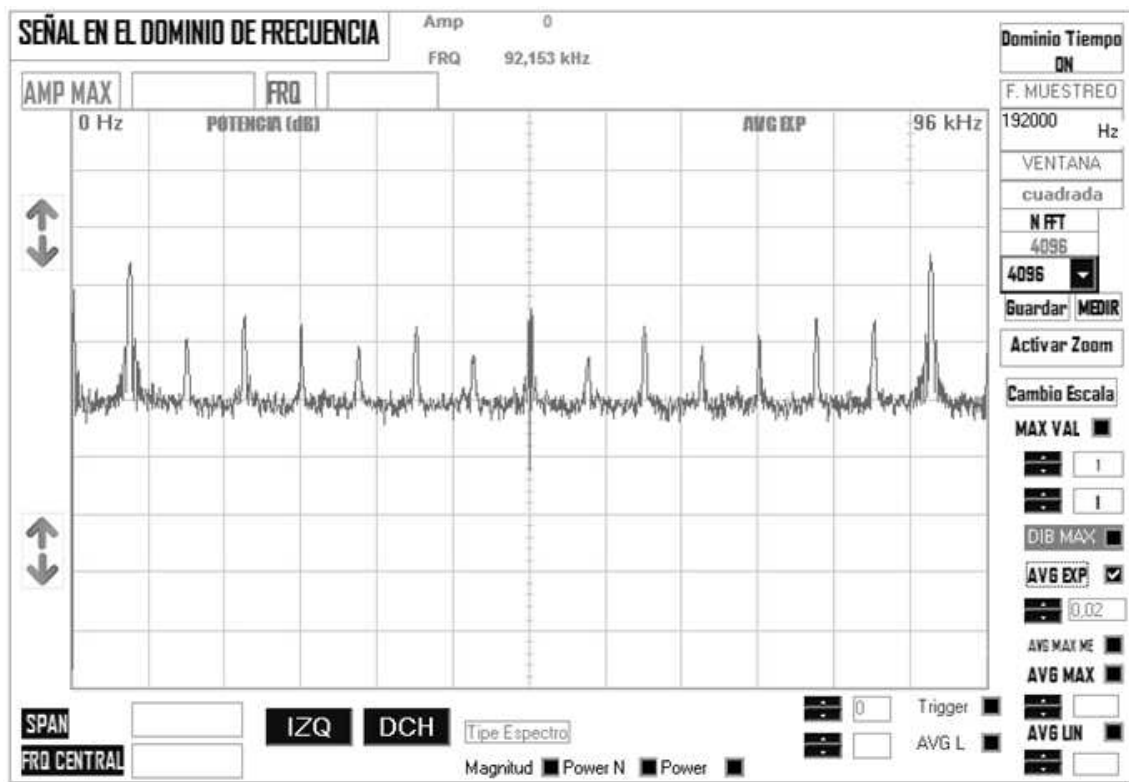


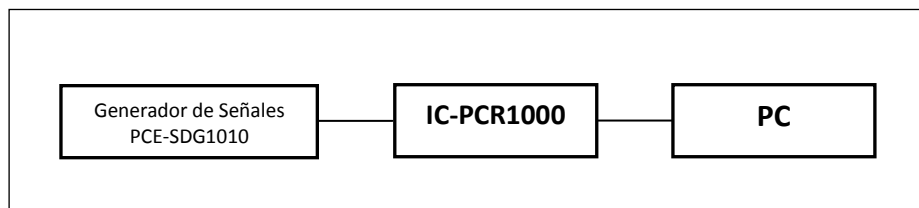
Figura 5.31: Medición con promediado aplicado de tipo exponencial: Se reduce el ruido de fondo y se puede ver las componentes frecuenciales presentes en la señal

#### 5.4.4- Promediado Máximo

A continuación ponemos ejemplo del resultado que se puede obtener aplicando un promediado de la señal. Se realiza un ensayo de medición de una señal generada por el generador de señales PCE-SDG1010 conectado directamente al receptor IC-PCR1000 (ver figura 5.32). Se conecta el PCE-SDG1010 a través de su salida OUT1 a la entrada del IC-PCR1000 (cable) que a su vez se conecta al PC a través de la entrada audio de la tarjeta de sonido.

Se mide una señal de 13 kHz, modulando en AM a una portadora con frecuencia de 1MHz, y amplitud de 40 mVpp.

Se sintoniza el receptor IC-PCR1000 a la frecuencia 1 MHz. Se utiliza N=1024, Ventana Hanning y una frecuencia de muestreo 44,1 kHz, Volumen J4040.

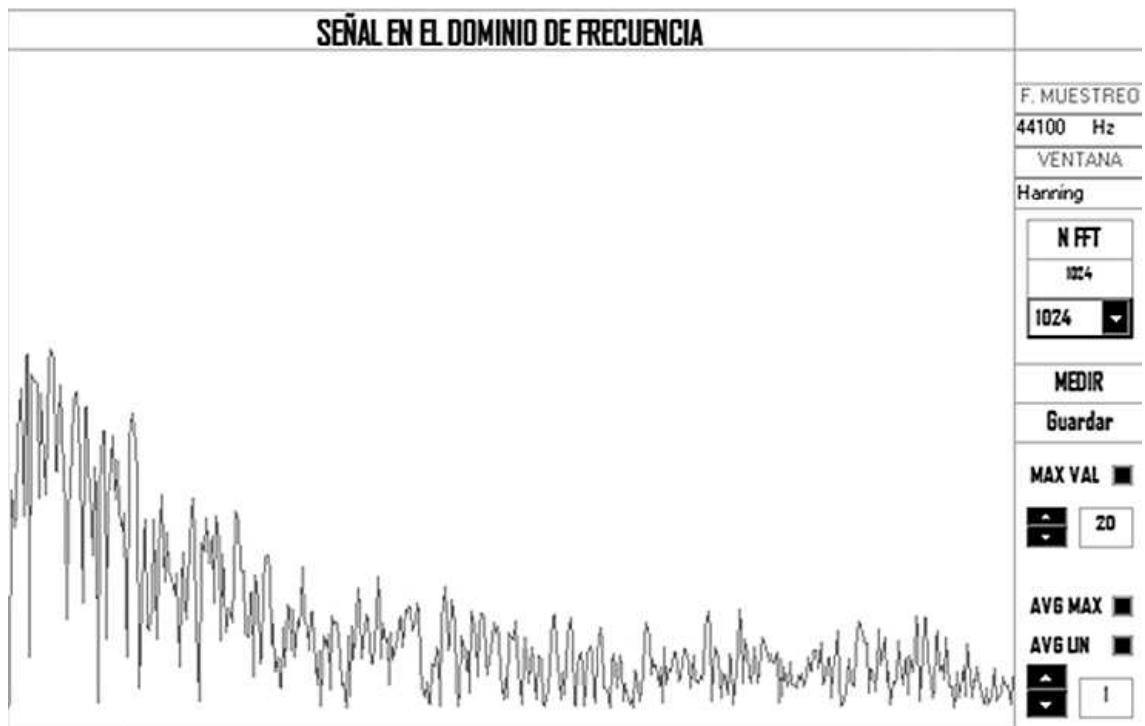


**Figura 5.32:** Ensayo de medición de una señal generada por PCE-SDG1010 conectado al receptor IC-PCR1000 a su vez conectado a la tarjeta de sonido del PC

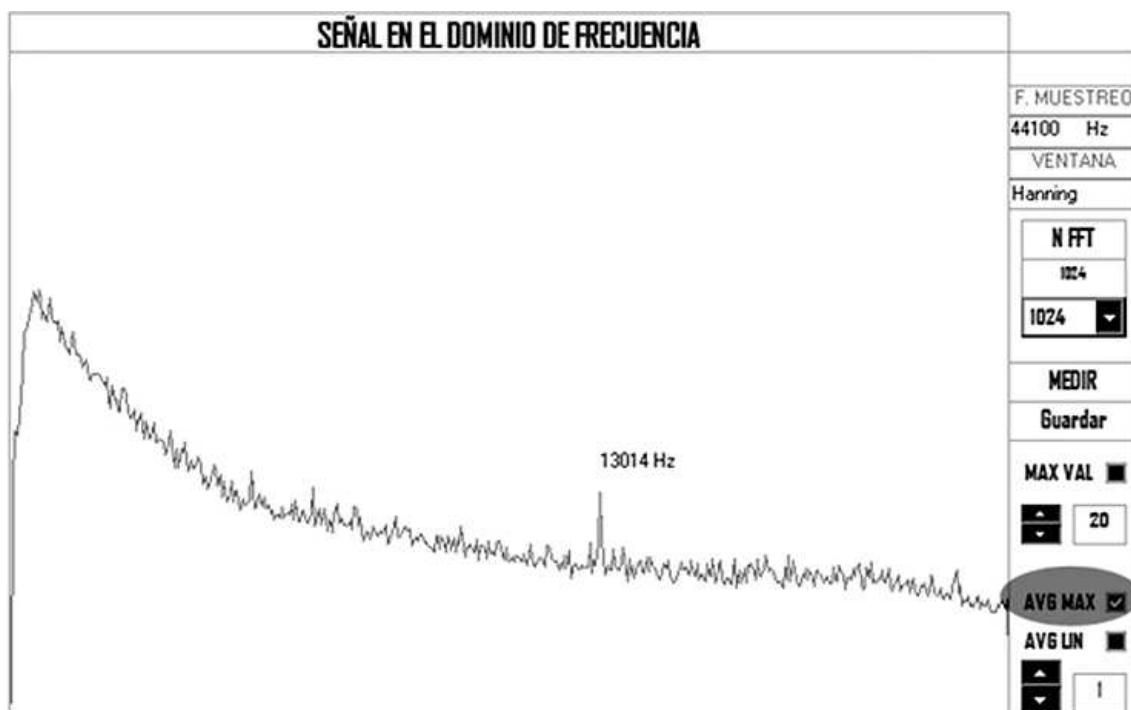
Activando la salida del generador de señales se obtiene la señal que se representa en la Figura 5.33.

En esta figura, no es posible identificar la señal recibida por el IC-PCR1000 porque se presenta mucho ruido de fondo.

Se aplica el promediado tipo máximo, y se obtiene la señal que se representa en la Figura 5.34. Se nota que después de aplicar el promediado, aparece el pico de 13 kHz claramente.



**Figura 5.33:** Resultado de medición de una señal de 13 kHz, modulando en AM a una portadora con frecuencia de 1MHz, y amplitud de 40 mVpp. Se sintoniza el receptor PCR a la frecuencia 1 MHz, N=1024, Ventana Hanning, FS=44,1 kHz. No se aplica ningún promediado.



**Figura 5.34:** Resultado de medición de una señal de 13 kHz, modulando en AM a una portadora con frecuencia de 1MHz, y amplitud de 40 mVpp. Se sintoniza el receptor PCR a la frecuencia 1 MHz, N=1024, Ventana Hanning, FS=44,1 kHz. Se aplica promediado tipo Máximo

## **5.5- CALIBRACIÓN Y MEDICIÓN DEL NIVEL DE LA SEÑAL**

### **5.5.1- Introducción**

En esta parte, vamos a ver los pasos que hemos seguido para implementar una parte importante de esta Tesis que es conocer el nivel de la señal, así los tipos de mediciones utilizados. Hasta ahora somos capaces de capturar la señal utilizando la tarjeta de sonido del PC, entendemos el proceso de muestreo y los factores que influyen en este proceso, calculamos el espectro estimado, detectamos los componentes frecuenciales presentes en la señal a medir, pero todavía no sabemos medir y cuantificar el valor del nivel de la señal que analizamos. Esta parte describe las diferentes soluciones implementadas para resolver este objetivo.

Antes de entrar en el detalle de las técnicas utilizadas es necesario tener claro los conceptos importantes que a continuación se describen, para entender lo que vamos a medir, como vamos a medirlo, y sobretodo interpretarlo.

#### **5.5.1.1- Corriente**

La corriente se mide en amperios (A) y es el flujo de la carga eléctrica medida en Coulombs. La cantidad de la carga está determinada por el número de electrones que se mueven en un determinado punto. La unidad de la corriente está definida como el número de Culombios de la carga que atraviesa un punto determinado en un segundo.

1 Amperio  $\rightarrow$  1 Coulomb/s

1 Coulomb =  $6242.10^{18}$  electrones

Se considera la corriente como el flujo de la carga positiva, lo que significa que la corriente fluye en la dirección contraria del flujo de los electrones puesto que los electrones tienen una carga negativa.

#### **5.5.1.2- Voltaje**

El voltaje se mide en voltios (V), se refiere a la fuerza electromotriz o bien potencial eléctrico, es la fuerza eléctrica que permite que la carga se mueva y la corriente fluya. El voltaje es un concepto relativo porque su medición en un punto debe ser especificado con qué otro punto de referencia se ha tomado. En general se toma la tierra como punto de referencia.

Si el voltaje es el mismo en 2 puntos A y B, la corriente es nula porque no hay fuerza electromotriz que mueva los electrones. Si el voltaje es mayor en un punto, la corriente circula desde el punto con mayor voltaje hacia el otro punto con menor voltaje.

### 5.5.1.3- Corriente Alterna (AC)

La forma más común de AC es la onda sinusoidal que se puede expresar con la ecuación 5.4

$$x(t) = V_{0p} \sin(2\pi ft) \quad (5.4)$$

Se puede expresar también una onda sinusoidal como:

$$x(t) = V_{0p} \sin(\omega t) \quad (5.5)$$

Donde,  $\omega = 2\pi f$

En una onda sinusoidal el voltaje cambia con el tiempo, a veces es positivo, a veces es negativo y 2 veces en cada ciclo es nulo. Por eso existen varias formas para referir al nivel de una onda sinusoidal (Figura 5.35), valor zero-pico ( $V_{0p}$ ) que es simplemente el voltaje máximo que la onda alcanza, existe el  $V_{pp}$  valor pico a pico que mide el valor desde el nivel máximo positivo hasta el nivel máximo negativo (ecuación 5.6).

$$V_{pp} = 2V_{0p} \quad (5.6)$$

Valor RMS, valor cuadrático medio o valor eficaz, en ingles (Root Mean Square) es otra medida que se puede tomar para la onda sinusoidal y que tiene la siguiente expresión (ecuación 5.7):

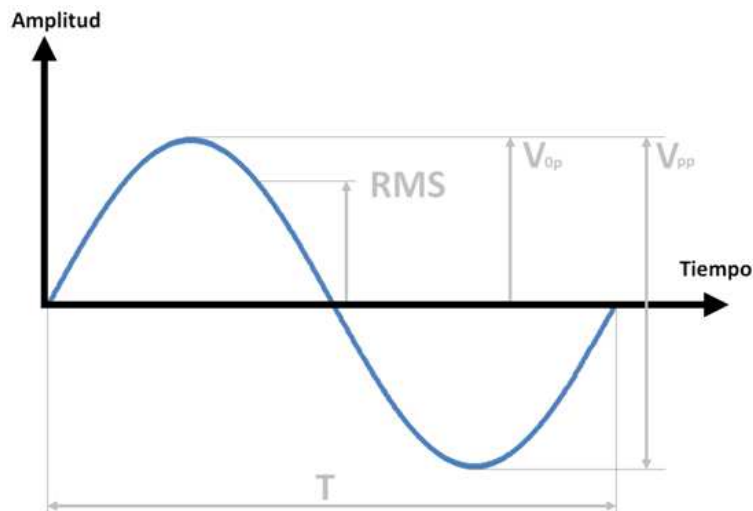
$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} x^2(t) dt} \quad (5.7)$$

Para las señales discretas el valor de RMS para muestras se calcula con la fórmula 5.8.

$$x(n)_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x(n)^2} \quad (5.8)$$

Para una señal sinusoidal, tenemos

$$x(n)_{RMS} = \frac{V_{op}}{\sqrt{2}} \quad (5.9)$$



**Figura 5.35:** formas para referir al nivel de una onda sinusoidal

#### 5.5.1.4- Amplitud

La amplitud de una variable es medir cuánto lejos y en qué sentido esta variable difiere de cero. Por eso la amplitud de una señal puede ser de valor positivo o negativo.

#### 5.5.1.5- Magnitud

La magnitud de una variable es la medida de cuánto lejos está la variable de cero sin tener en cuenta su sentido. Por eso la magnitud de una señal siempre tiene valor positivo.

En el campo de Procesamiento Digital de señales (DSP) se refiere a magnitud también por el término valor absoluto [LYON10].

La magnitud de cada muestra de salida  $X(m)$  es

$$X_{mag}(m) = |X(m)| = \sqrt{X_{real}(m)^2 + X_{imag}(m)^2} \quad (5.10)$$

Cuando se examina una señal en el dominio de frecuencia, es interesante saber el nivel de potencia de esta señal. La potencia de una señal es proporcional a su amplitud (o magnitud) al cuadrado.

La potencia de una secuencia en el dominio de tiempo se expresa por la ecuación 5.11.

$$x_{pwr}(n) = |x(n)|^2 \quad (5.11)$$

La potencia de una secuencia en el dominio de frecuencia se expresa por la ecuación 5.12.

$$X_{pwr}(m) = |X(m)|^2 \quad (5.12)$$

Por la naturaleza de la potencia (cuadrado de la señal), su representación implica poder tener valores muy pequeños y otros muy grandes en el mismo gráfico. Por esta razón, y para poder generar y evaluar, se utiliza escala en decibelios para la representación de la potencia.

#### 5.5.1.6- Errores del ADC

Existen 4 tipos de errores del ADC que se deben comprobar en su caso calibrar, el error de ganancia, error de linealidad, error de offset y error de “*missing code*” o pérdida de códigos.

Los errores de ganancia y de offset son fáciles de corregir, mientras los errores de linealidad y de *missing code*, son más complejos de corregir si están presentes.

El proceso de calibración se puede realizar a nivel de hardware, a nivel de software, o bien una combinación entre hardware y software.

En nuestra Tesis utilizamos el proceso de calibración por software que consiste en calcular un factor de corrección que será guardado en una memoria no-volátil del sistema desarrollado, y será utilizado para calcular el valor digital correcto leído desde la tarjeta de sonido.

En general los ADC están calibrados en fábrica, pero suelen descalibrarse con el tiempo, y con las variaciones de temperatura de funcionamiento. Es recomendable volver a calibrar un ADC cada periodo de 6 meses.

El procedimiento de calibración recomendado es utilizando un generador de señales que dispone de frecuencias estables y amplitud controlable. El error del offset en general se reduce al mínimo con la entrada de señal a 0 del dispositivo. El error de ganancia se corrige mediante la aplicación de una señal precisa en la entrada.

### 5.5.2- Error de offset

Con la tarjeta de sonido sin ninguna señal en la entrada, se obtiene la señal de la Figura 5.36. Como se puede observar, la tarjeta de sonido presenta un *offset* negativo de aproximadamente -236 puntos.

Se ha implementado un algoritmo que realiza un cálculo la media del ruido de fondo durante 20 segundos, el resultado del cálculo se guarda en una memoria no-volátil y será aplicado como factor de corrección para las mediciones realizadas con esta tarjeta de sonido.

Se procede a realizar el proceso de calibración como se muestra en las figuras 5.35 y 5.36.

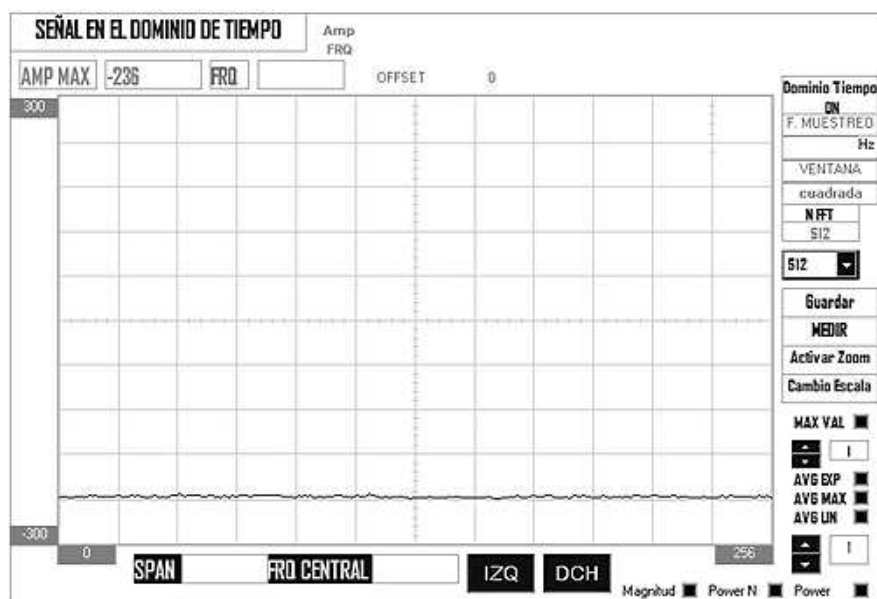


Figura 5.36: Error de Offset detectado

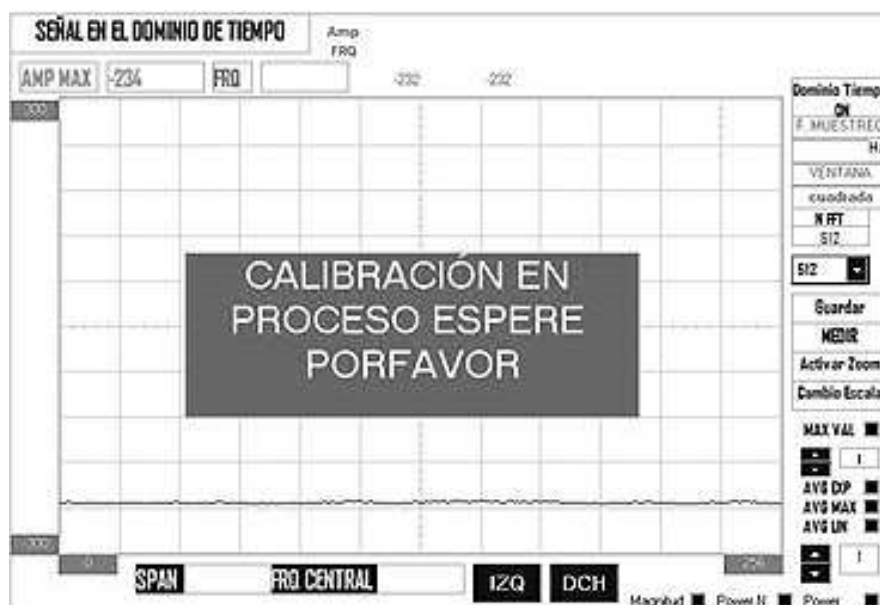
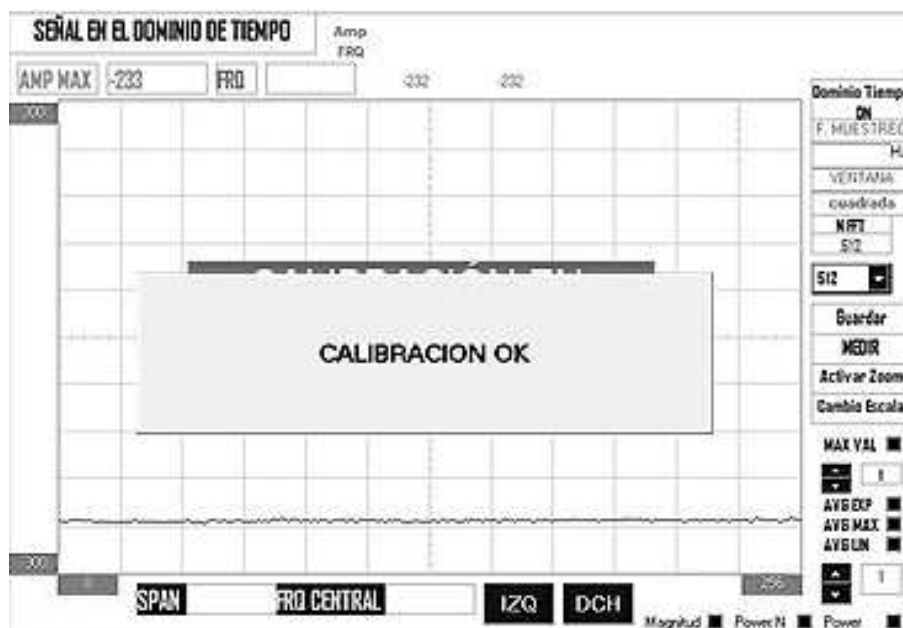


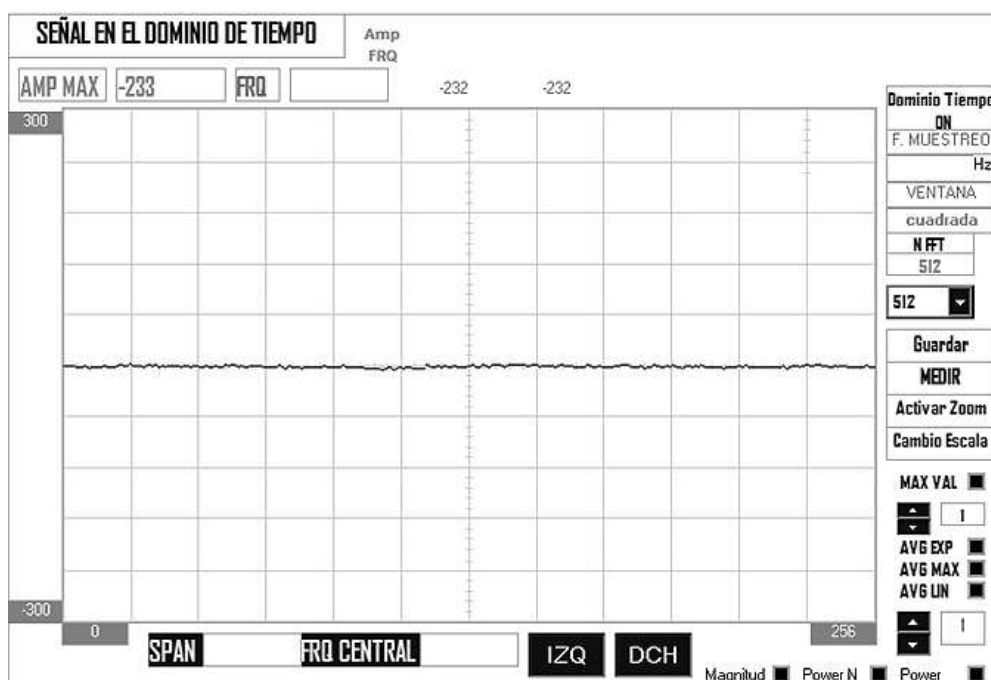
Figura 5.37: inicio de la calibración





**Figura 5.38:** Finalización de la calibración

Una vez terminado el proceso de calibración tenemos la señal que se representa en la Figura 5.39. Como se puede ver en la imagen de esta figura, el coeficiente de corrección es de -232 que se ha guardado en la memoria y cada vez que se realizan mediciones se aplica la corrección utilizando este factor.



**Figura 5.39:** Error de Offset corregido despues del proceso de calibración

Una vez que la señal este corregida se inician las medidas de la señal.

### 5.5.3- Error de linealidad

Al comprobar la linealidad de la tarjeta de sonido, se ha encontrado una pequeña no-linealidad cuando en la entrada se presentan niveles con amplitudes grandes, por ejemplo en el ensayo que se muestre en la Figura 5.40, se trata de aplicar una señal de entrada de 9 kHz, con amplitud 40 mVpp, generado desde el Generador de señales Rohde & Schwarz ADS.

Se utiliza una frecuencia de muestreo  $F_s = 96000$ . La aparición del armónico es prueba de no-linealidad de la tarjeta de sonido, pero con pequeño valor, ya que al medir la amplitud de la señal principal es de 74 puntos, mientras el primer armónico tiene una amplitud de 9 puntos.

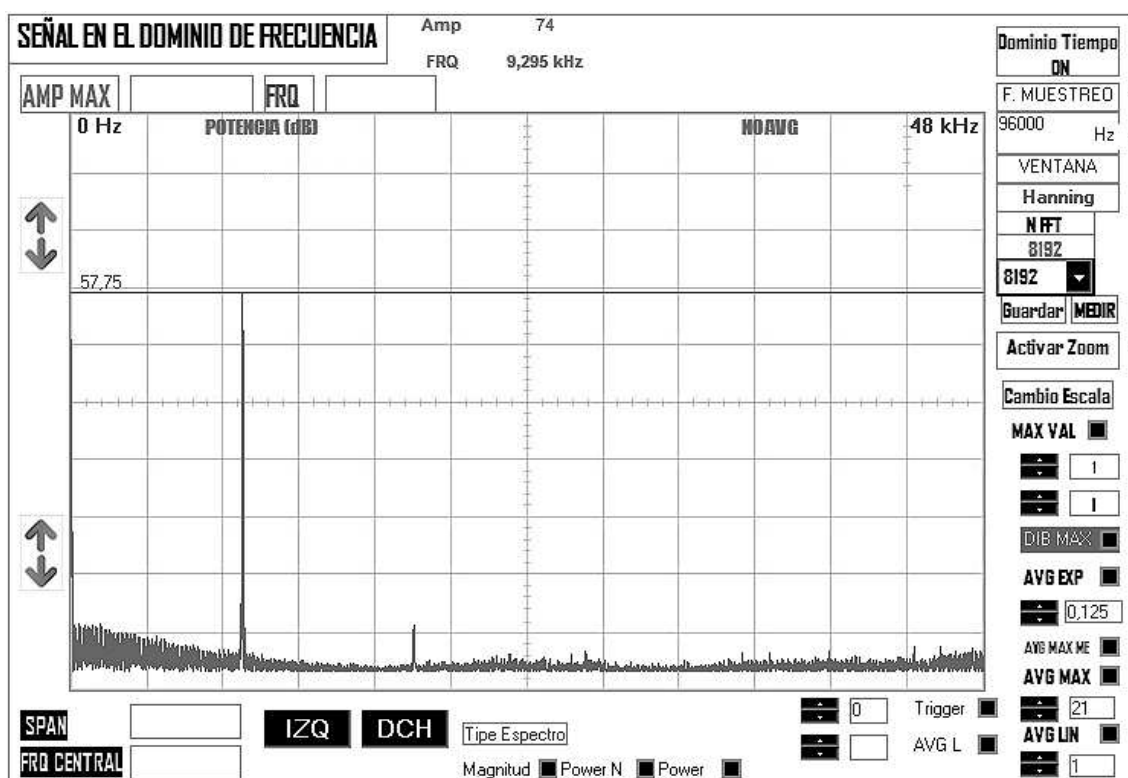


Figura 5.40: Efecto de no-linealidad presente en la tarjeta de sonido

Otro ensayo se realizó con una señal de entrada 9kHz – 40 mVpp (80 mVpp) desde el AM300 de Rohde & Schwarz. Esta vez se utilizó una frecuencia de muestreo  $F_s = 19200$ .

Se utilizan los siguientes parámetros de análisis:  $N\_FFT = 8192$  – Hanning – AVG Peak Hold.

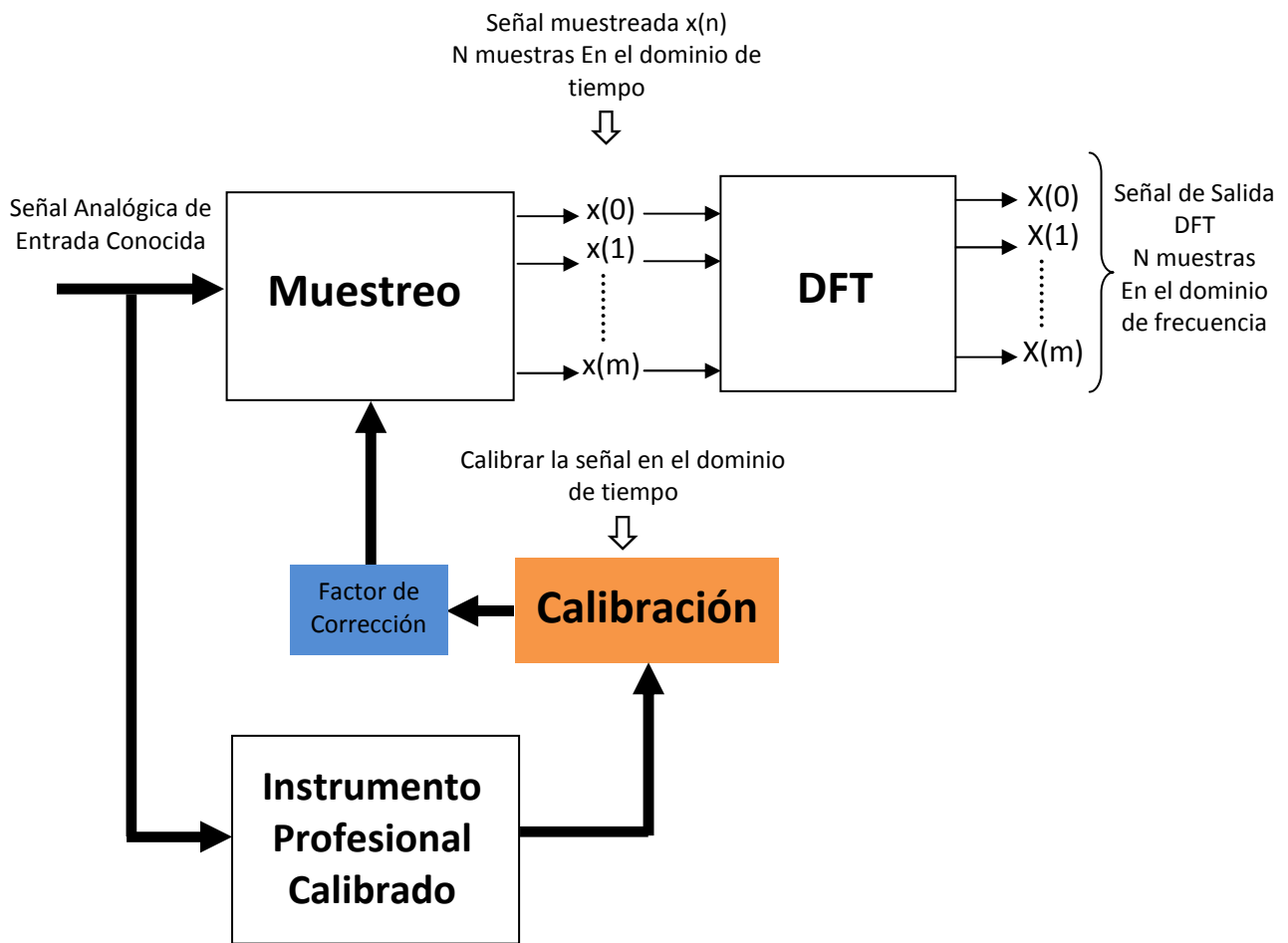
El resultado de este ensayo se presenta en la figura 5.41, donde se puede apreciar el efecto de la no linealidad que presenta la tarjeta de sonido. Se observa también un pico que es debido al efecto leasing.



Figura 5.41: Efecto de la no-linealidad presente en la tarjeta de sonido

#### 5.5.4 - Proceso de calibración del nivel de la señal

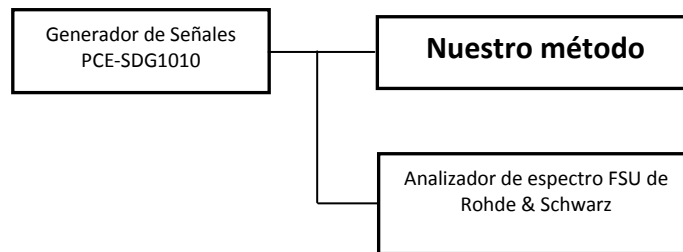
El proceso de calibración que realizamos en nuestra Tesis (Figura 5.42), consiste en calibrar la señal en el dominio de tiempo, y después aplicar los coeficientes de corrección al dominio de frecuencia, puesto que todo después de la etapa de muestreo es cálculo de señal digital, y se puede trasladar la corrección.



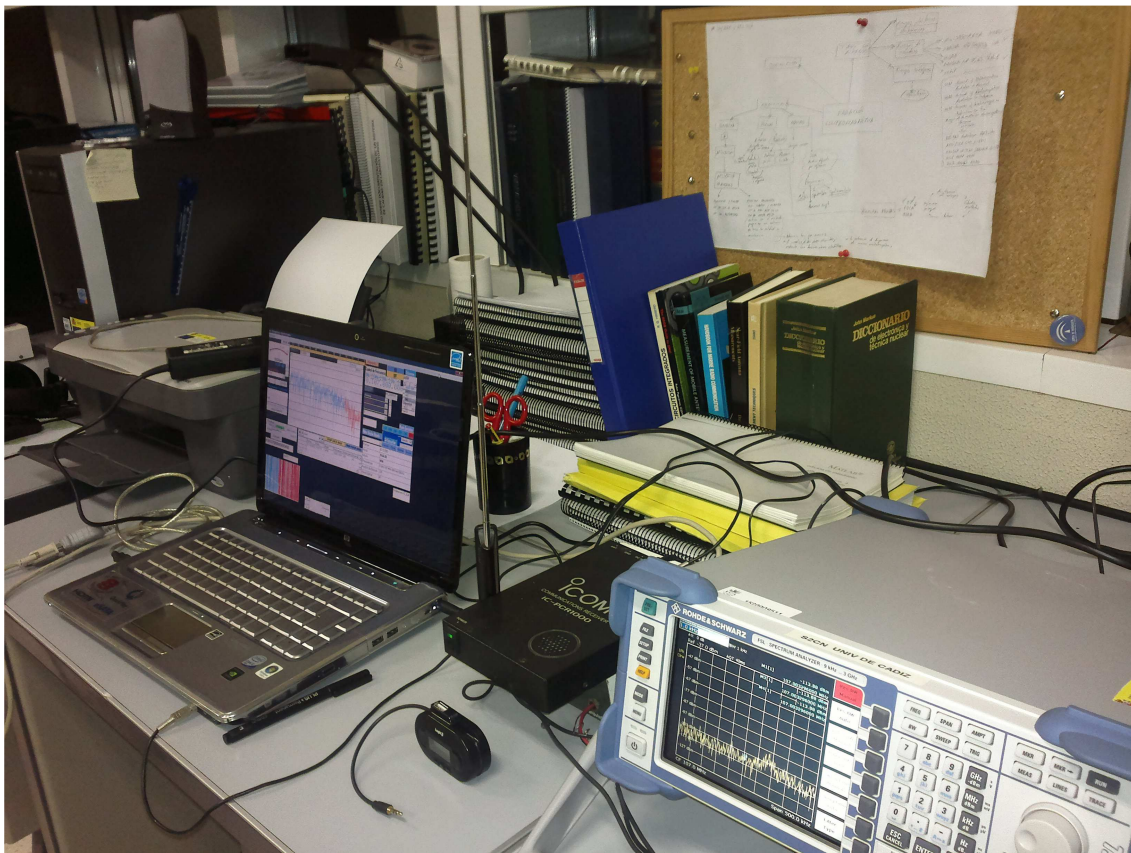
**Figura 5.42:** Proceso de Calibración realizado en esta Tesis

En todos los ensayos se ponen algunos ejemplos de las mediciones realizadas de calibración para no llenar esta parte con muchos datos y tablas. El resto de los resultados se ponen detalle en el apéndice de Resultados.

#### 5.5.4.1- Proceso de calibración 1: CASEM – Universidad de Cádiz



**Figura 5.43:** Proceso de Calibración<sup>1</sup> realizado en el CASEM, Universidad de Cádiz



**Figura 5.44:** Material utilizado para el proceso de Calibración1 realizado en el CASEM, Universidad de Cádiz

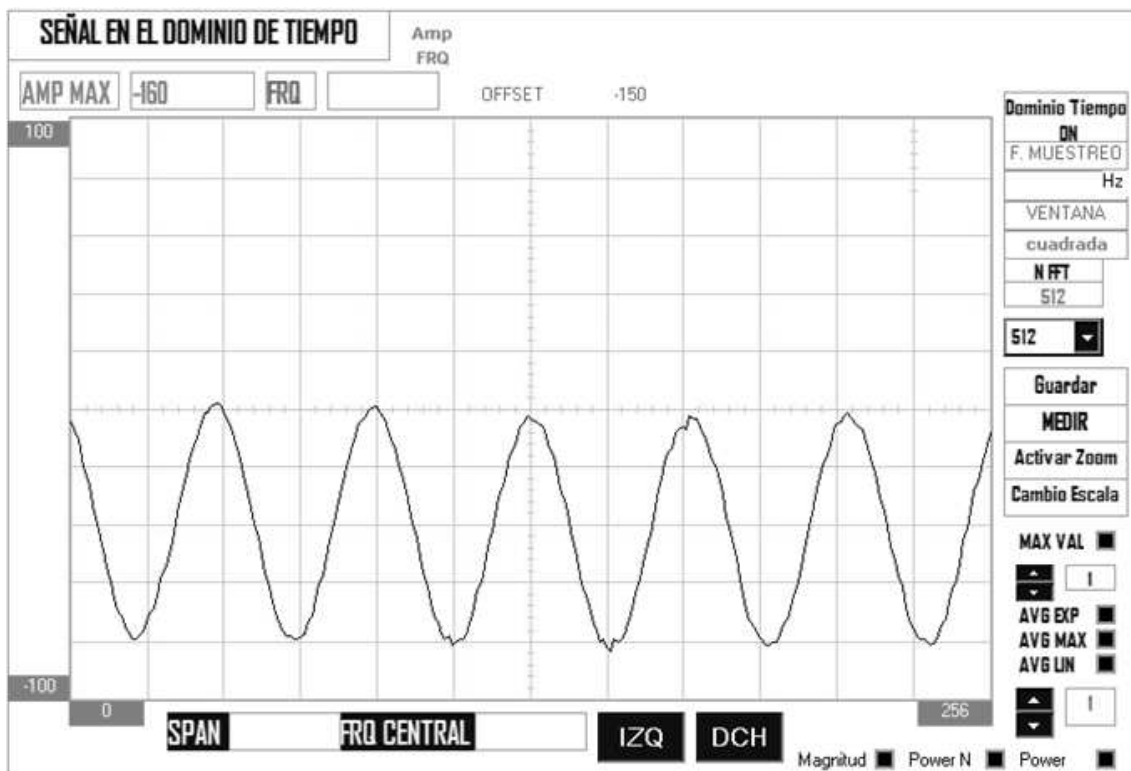


Figura 5.45: Señal de 4mVpp, Frecuencia de 1kHz, Escala de -100, 100, Fs a 44000

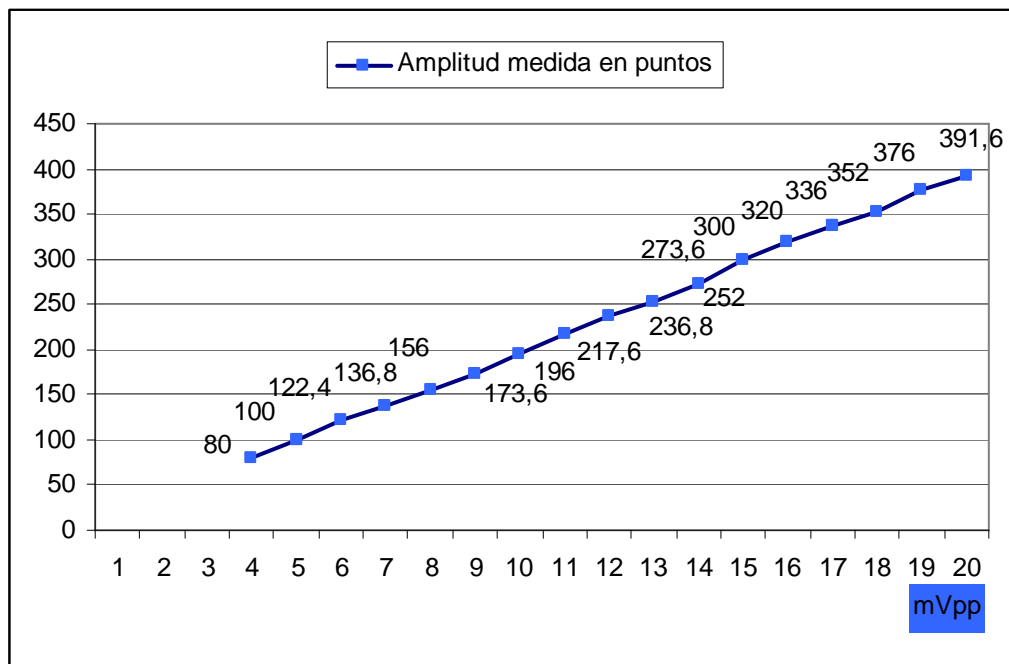


Figura 5.46: Calibración de nivel de señal: señal de entrada de 1kHz, Nivel 4-20mVpp, FS 44000

Frec Entrada	mVpp	cuadros	Valor Buffer Calculado	Xmin	Xmax	Ymin	Ymax	N_FFT puntos	Fs Hz	Offset Tarjeta Calculado
1kHz	4	2,1	84	-200	200	0	256	512	44000	-150
1kHz	4	4	80	-100	100	0	256	512	44000	-150
1kHz	5	1,7	102	-300	300	0	256	512	44000	-150
1kHz	5	5	100	-100	100	0	256	512	44000	-150
1kHz	6	2,2	132	-300	300	0	256	512	44000	-150
1kHz	6	5,1	122,4	-120	120	0	256	512	44000	-150
1kHz	7	2,3	138	-300	300	0	256	512	44000	-150
1kHz	7	5,7	136,8	-120	120	0	256	512	44000	-150
1kHz	8	2,6	156	-300	300	0	256	512	44000	-150
1kHz	8	6,5	156	-120	120	0	256	512	44000	-150
1kHz	9	3	180	-300	300	0	256	512	44000	-150
1kHz	9	6,2	173,6	-140	140	0	256	512	44000	-150
1kHz	10	3,4	204	-300	300	0	256	512	44000	-150
1kHz	10	7	196	-140	140	0	256	512	44000	-150
1kHz	11	3,6	216	-300	300	0	256	512	44000	-150
1kHz	11	6,8	217,6	-160	160	0	256	512	44000	-150
1kHz	12	3,9	234	-300	300	0	256	512	44000	-150
1kHz	12	7,4	236,8	-160	160	0	256	512	44000	-150
1kHz	13	4,2	252	-300	300	0	256	512	44000	-150
1kHz	13	7	252	-180	180	0	256	512	44000	-150
1kHz	14	4,6	276	-300	300	0	256	512	44000	-150
1kHz	14	7,6	273,6	-180	180	0	256	512	44000	-150
1kHz	15	5	300	-300	300	0	256	512	44000	-150
1kHz	15	7,5	300	-200	200	0	256	512	44000	-150
1kHz	16	5,2	312	-300	300	0	256	512	44000	-150
1kHz	16	8	320	-200	200	0	256	512	44000	-150
1kHz	17	5,6	336	-300	300	0	256	512	44000	-150
1kHz	17	8,4	336	-200	200	0	256	512	44000	-150
1kHz	18	6	360	-300	300	0	256	512	44000	-150
1kHz	18	8,8	352	-200	200	0	256	512	44000	-150
1kHz	19	6,3	378	-300	300	0	256	512	44000	-150
1kHz	19	9,4	376	-200	200	0	256	512	44000	-150
1kHz	20	6,5	390	-300	300	0	256	512	44000	-150
1kHz	20	8,9	391,6	-220	220	0	256	512	44000	-150

**Tabla 5.9:** Estudio de comportamiento de la tarjeta de sonido frente a una señal de entrada de 1kHz, FS 44000

### 5.5.4.2- Proceso de calibración 2: ENSA de Tánger – Universidad Abdelmalek Essaadi (UAE), Tánger (Marruecos)

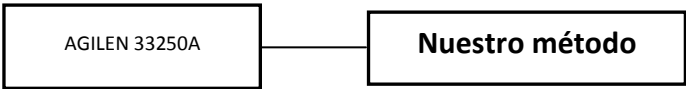


Figura 5.47: Proceso de Calibración2 realizado en ENSA de Tánger, UAE (Marruecos)

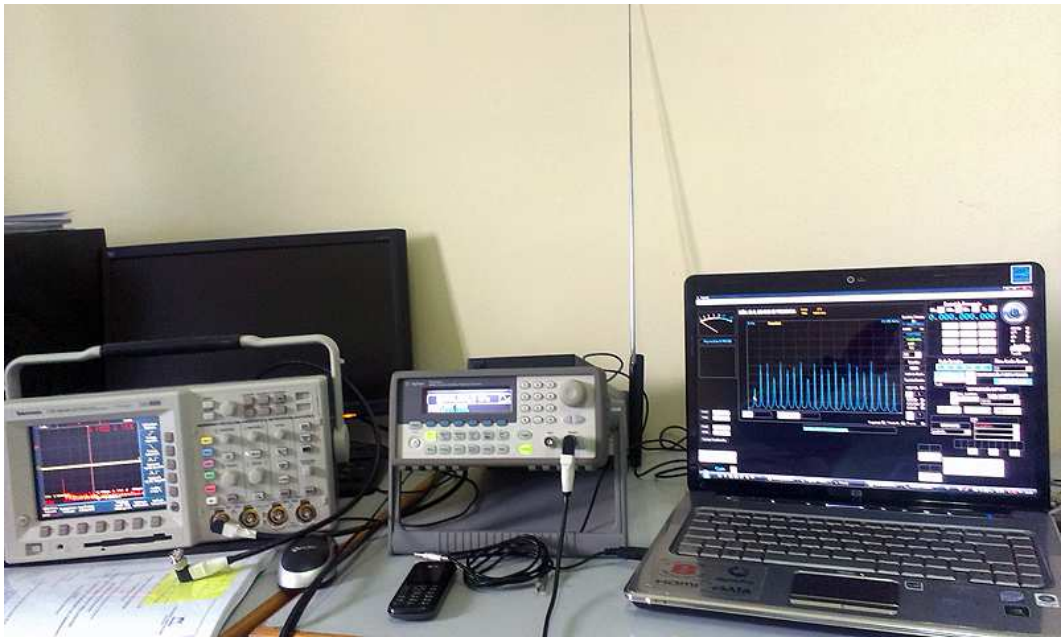


Figura 5.48: Instrumental utilizado en la ENSA de Tánger durante la fase de calibración del nuestro metodo

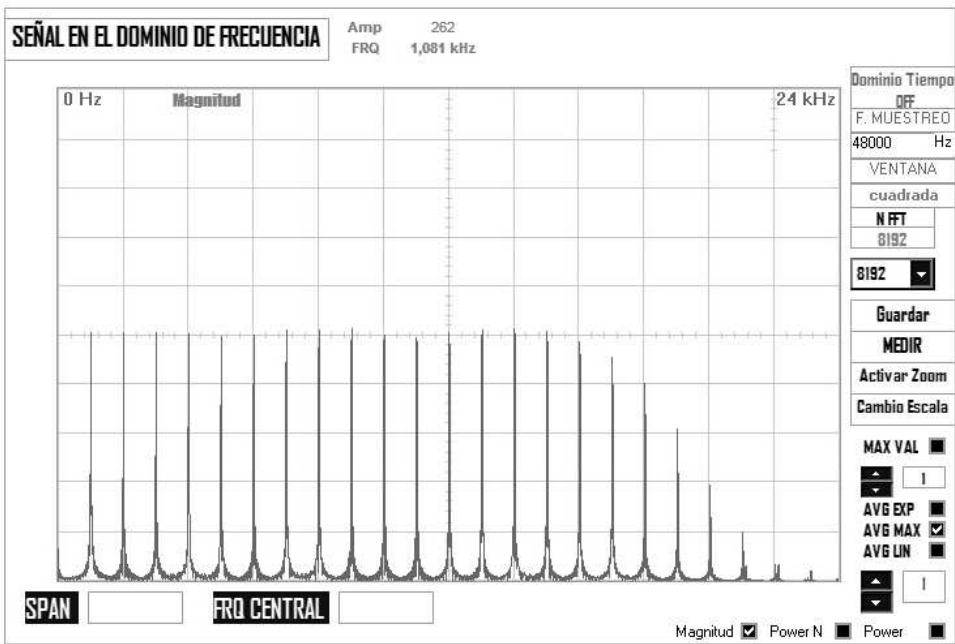


Figura 5.49: Resultado de mediciones, proceso de calibración de nivel de señal: señal de entrada de 1-20kHz, Nivel 1mVpp, FS 48000, N\_FFT8192, Agilent 33250A - 80 MHz

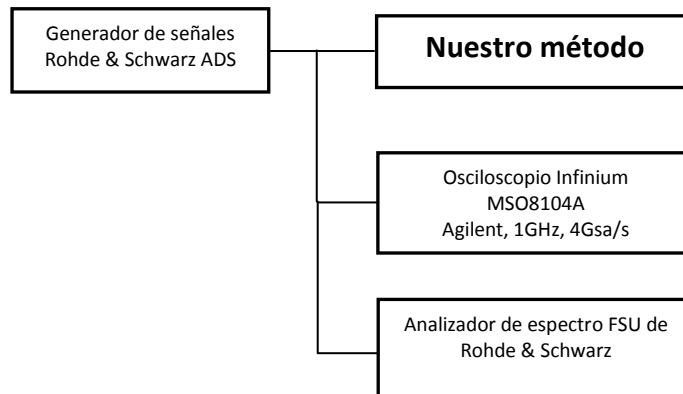


REF Medidas : 2013\_12\_27\_1  
 Generador Agilent 33250A - 80 MHz  
 Muestreo: 48000  
 NFFT: 8192  
 AVG: Peak Hold  
 Ventana: ninguna  
 Tipo medida: magnitud  
 Escala: Ymax=500, Ymin=0, Xmax=4096, Xmin=0  
 Señal entrada: sin

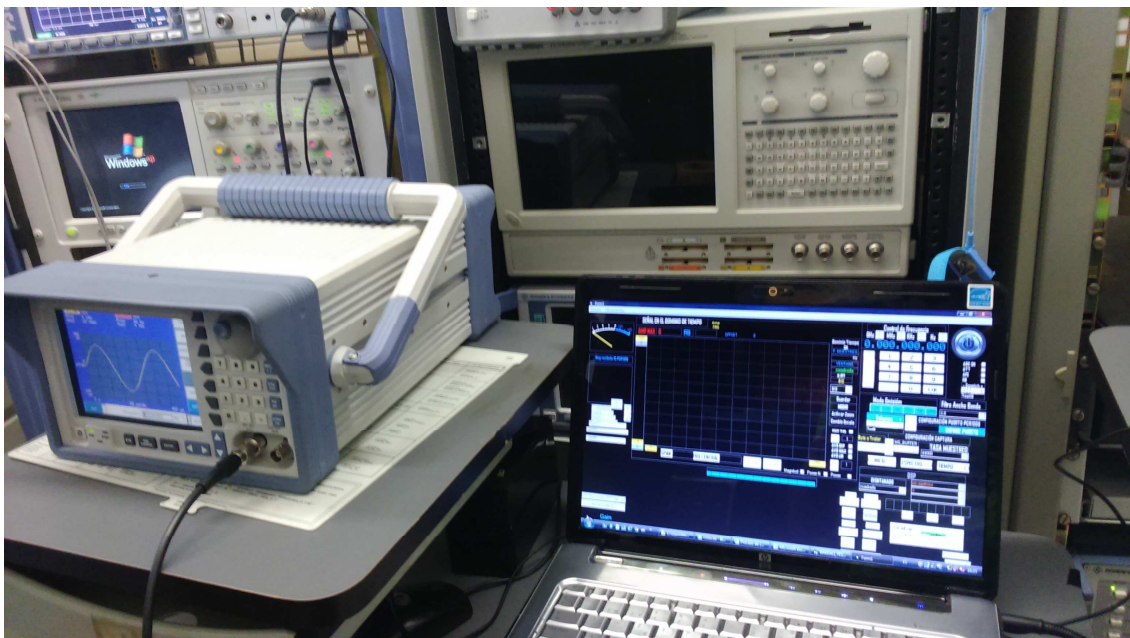
Frecuencia entrada Hz	Frecuencia medida Hz	Amplitud entrada mVpp	Amplitud medida puntos	Error frecuencia Hz
1000	1000	1	253	0
2000	2000	1	253	0
3000	3000	1	253	0
4000	4001	1	252	1
5000	5004	1	250	4
6000	6001	1	250	1
7000	7002	1	255	2
8000	8000	1	255	0
9000	9000	1	256	0
10000	10000	1	250	0
11000	11000	1	249	0
12000	12000	1	249	0
13000	13000	1	255	0
14000	14000	1	256	0
15000	15002	1	255	2
16000	16002	1	245	2
17000	17000	1	229	0
18000	18003	1	200	3
19000	19000	1	155	0
20000	20002	1	95	2

**Tabla 5.10:** Calibración de nivel de señal: señal de entrada de 1-20kHz, Nivel 1mVpp, FS=48000,  
 N\_FFT=8192, Agilent 33250A - 80 MHz

### 5.5.4.3- Proceso de calibración 3: Departamento de electrónica, Universidad de Sevilla



**Figura 5.50:** Proceso de Calibración 3 realizado en el Departamento de electrónica, Universidad de Sevilla



**Figura 5.51:** Instrumental utilizado el departamento de electrónica durante la fase de calibración del nuestro metodo

Durante este proceso de medición, se ha dado más importancia en medir señales con amplitud muy pequeñas. Se ha utilizado el Generador de señales Rohde & Schwarz ADS (Figura 5.52). Primero se ha medido señal de 1mVpp (Figura 5.53), después señal de 0,3 mVpp (Figura 5.54). La Figura 5.55 y 5.56 presenta la medición de señal 0.2mVpp con dos frecuencias de muestreo diferentes (44kHz y 192 kHz).

Se ha realizado una comparación de medición utilizando el osciloscopio Infinium MSO8104A – Agilent. Este último no ha podido medir esta señal (Figura 5.57)

Finalmente se ha realizado la medición de la señal de 0.1mVpp utilizando dos frecuencias de muestreo, 44kHz (Figura 5.58) y 192 kHz (Figura 5.59).

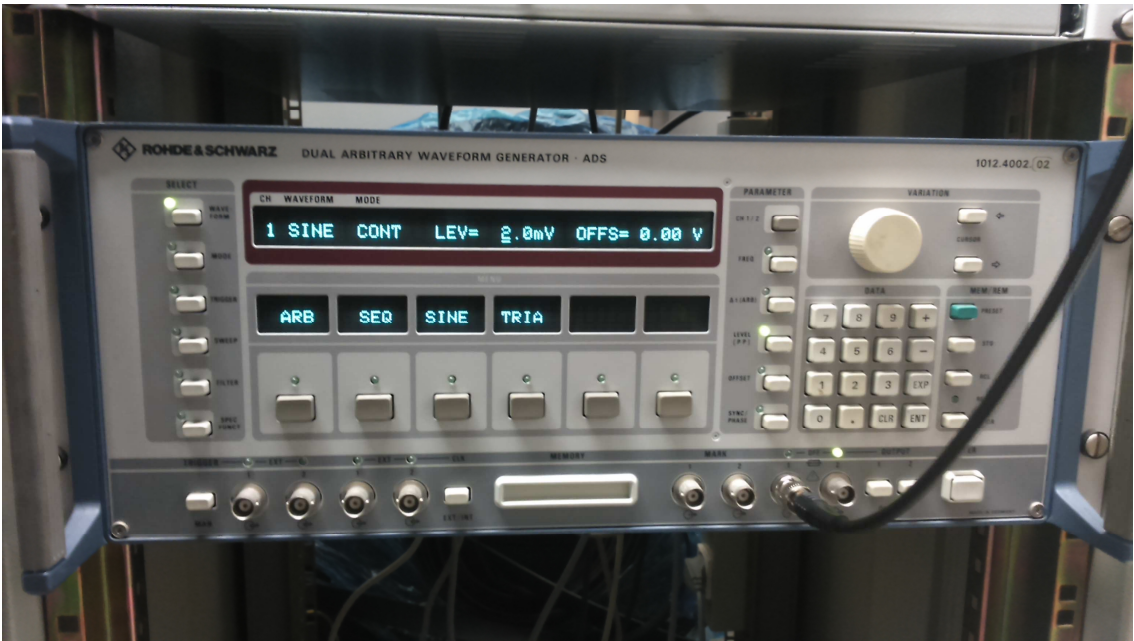


Figura 5.52: Generador de señales Rohde & Schwarz ADS

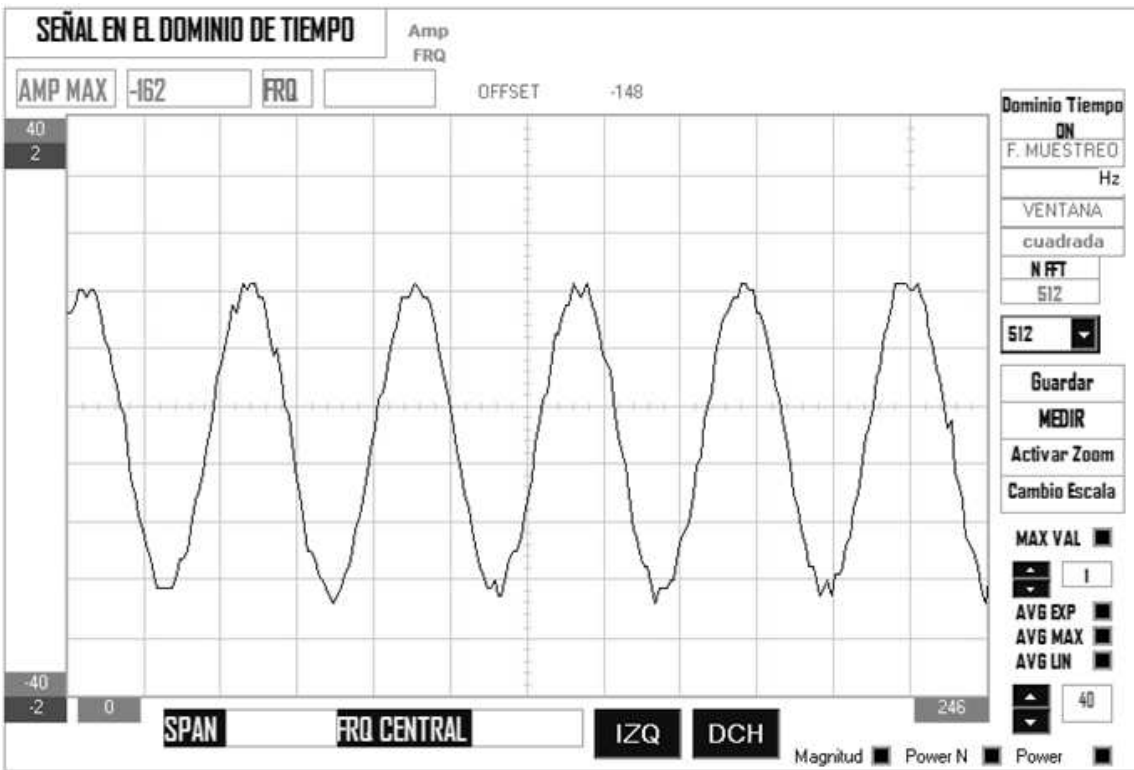


Figura 5.53: Resultado de medición de la señal de 1mVpp

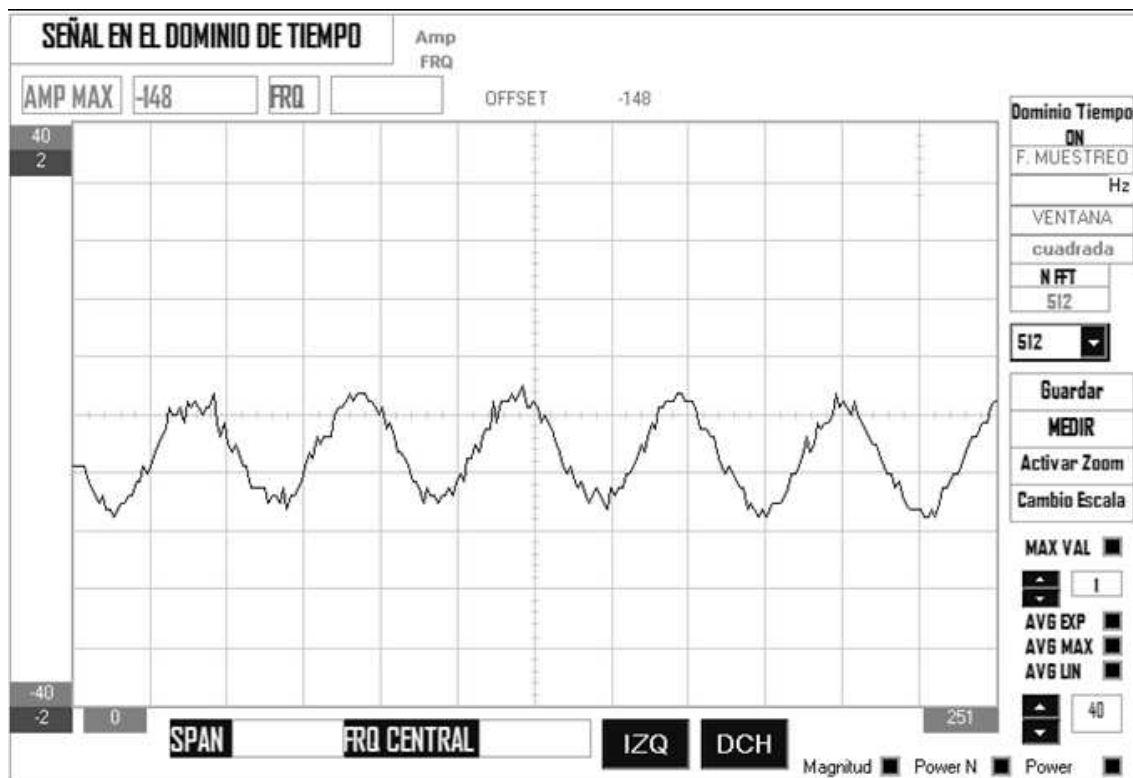


Figura 5.54: Resultado de medición de la señal de 0.3mVpp, FS= 44000

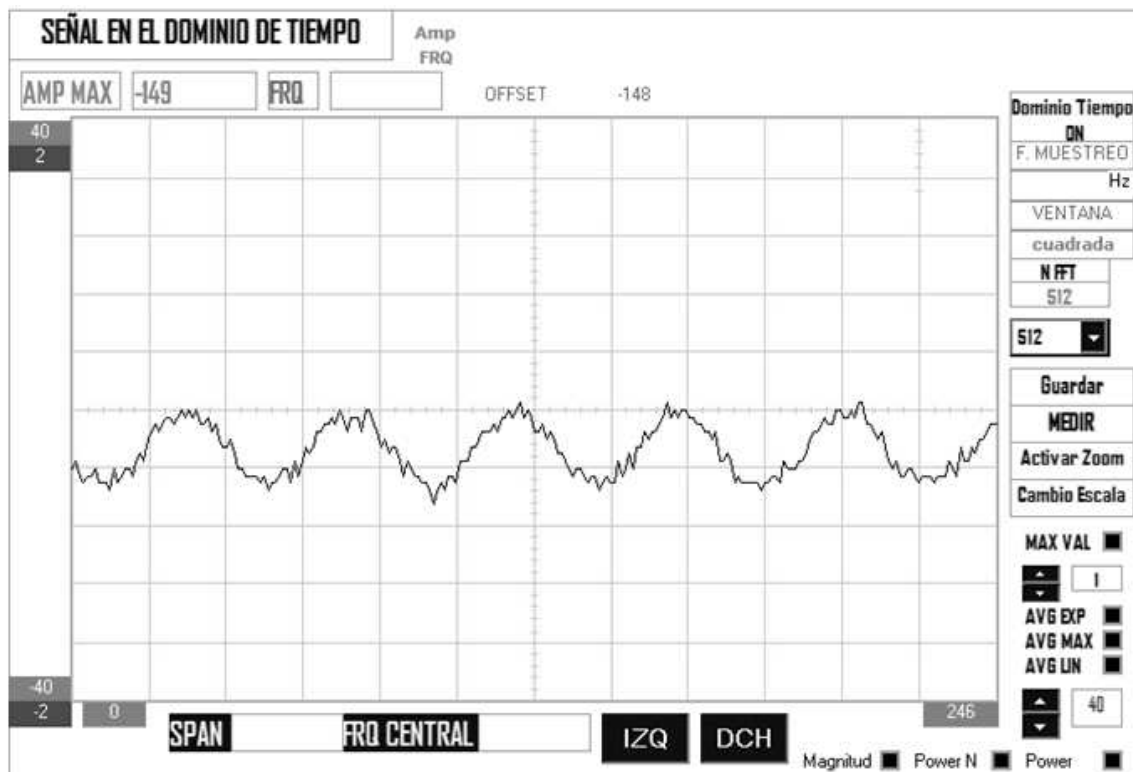


Figura 5.55: Resultado de medición de la señal de 0.2mVpp, FS= 44000

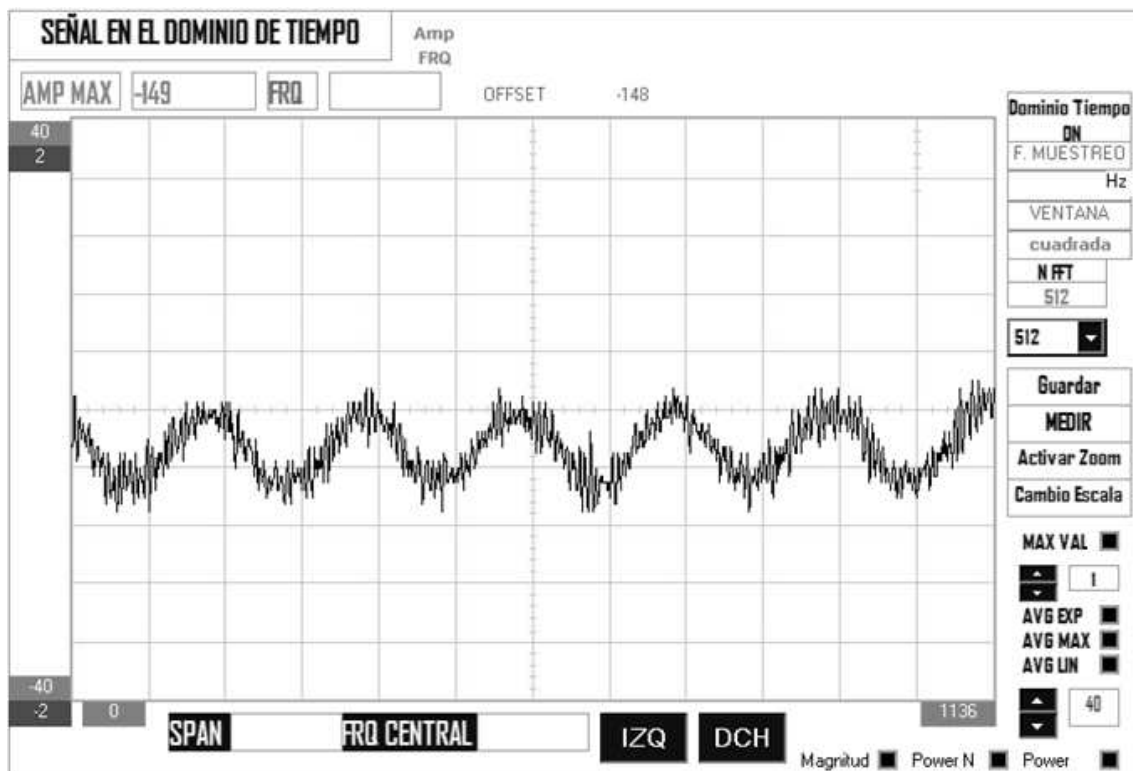


Figura 5.56: Resultado de medición de la señal de 0.2mVpp, FS= 192000

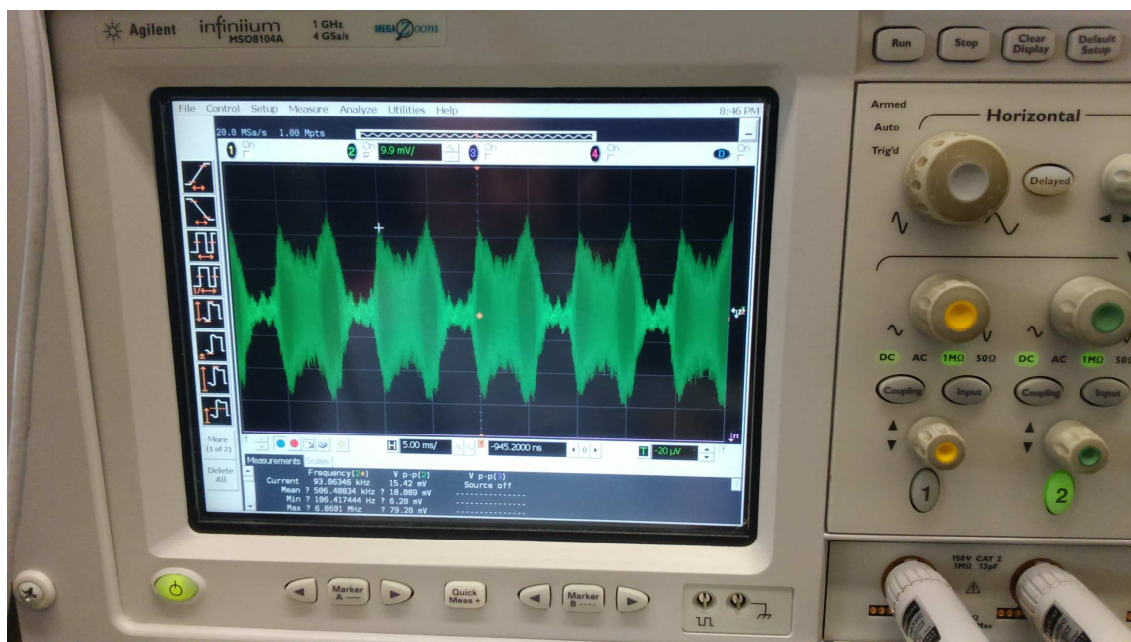


Figura 5.57: Osciloscopio Infiniium MSO8104A – Agilent, 1GHz, 4Gsa/s

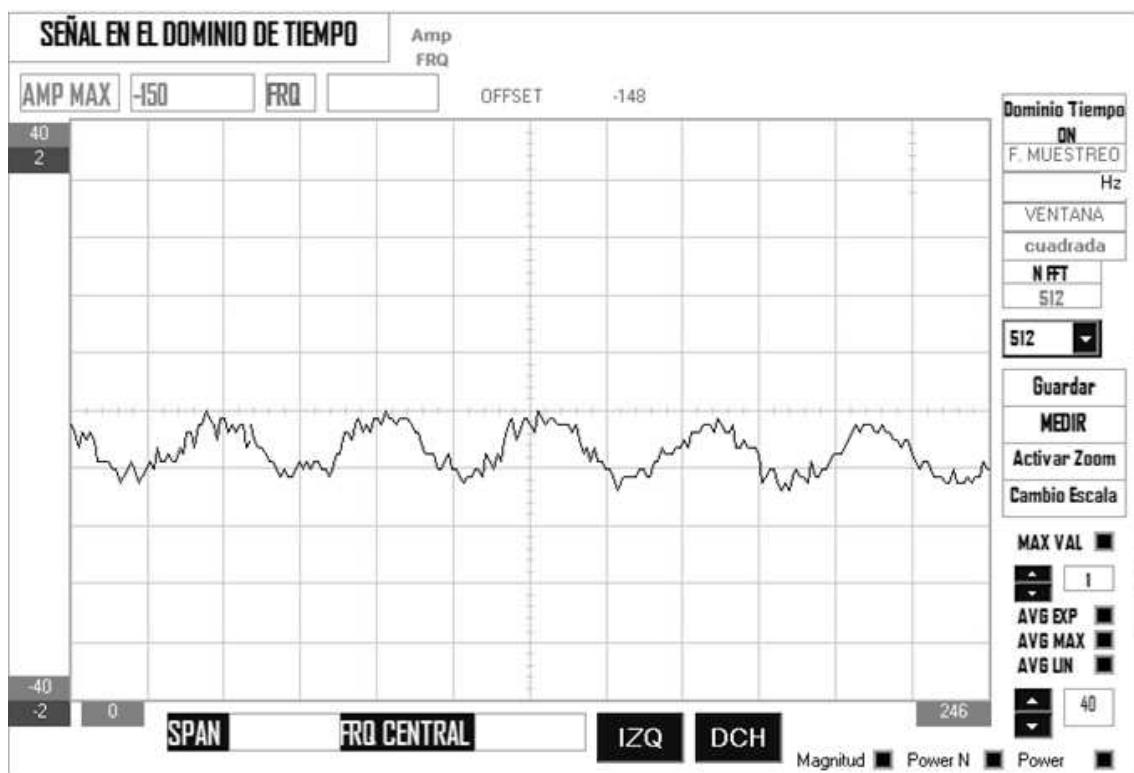


Figura 5.58: Resultado de medición de la señal de 0.1mVpp, FS= 44000

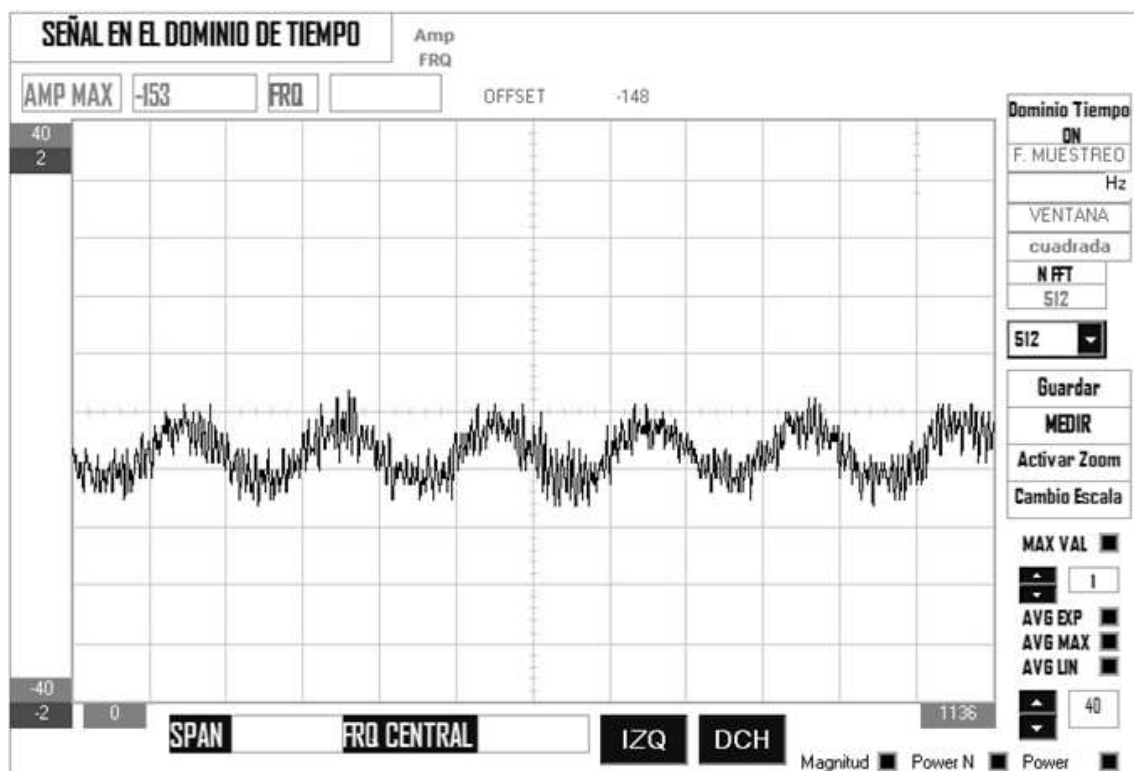
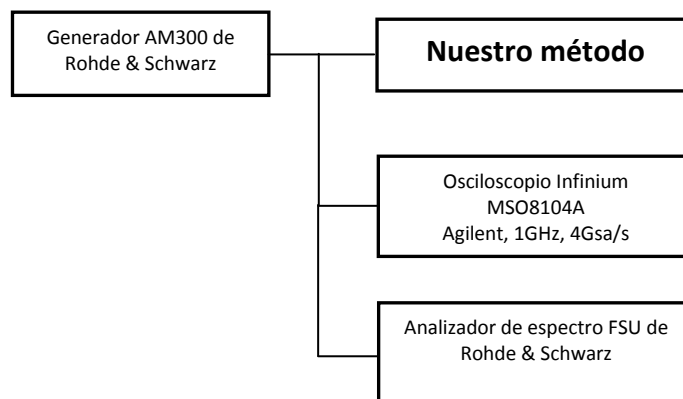


Figura 5.59: Resultado de medición de la señal de 0.1mVpp, FS= 192000



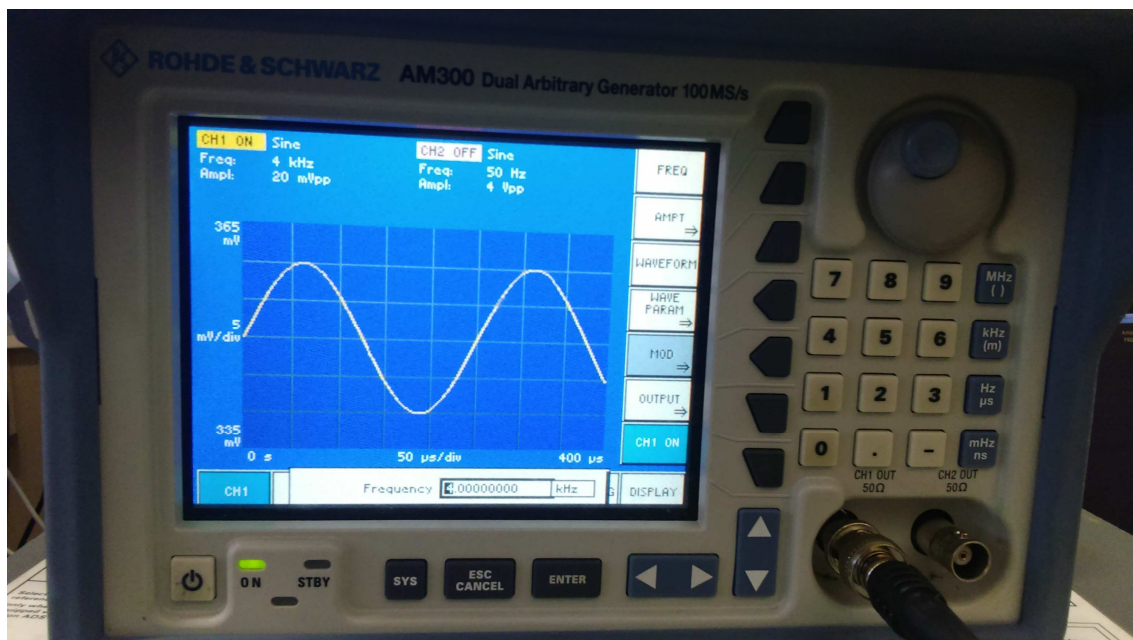
#### 5.5.4.4- Proceso de calibración 4: Departamento de electrónica, Universidad de Sevilla



**Figura 5.60:** Proceso de Calibración 4 realizado en el Departamento de electrónica, Universidad de Sevilla

Se utiliza el generador AM300 de Rohde & Schwarz

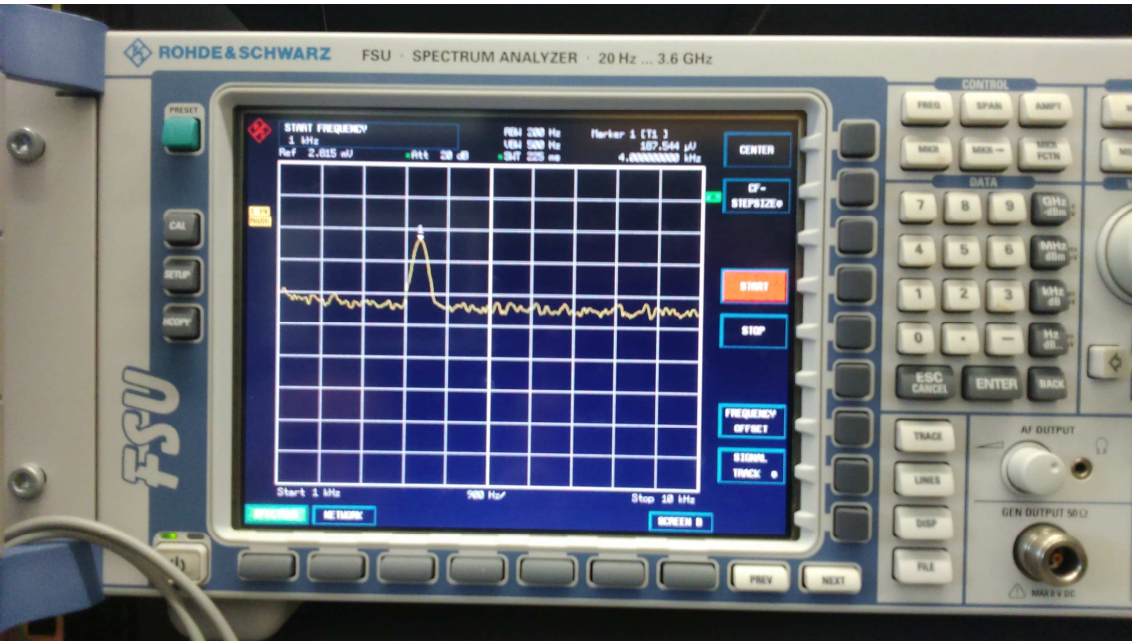
Este generador presenta una salida mínima de 20mVpp a impedancia de 50ohmios (40mVpp en caso de tarjeta de sonido)



**Figura 5.61:** AM300 de Rohde & Schwarz

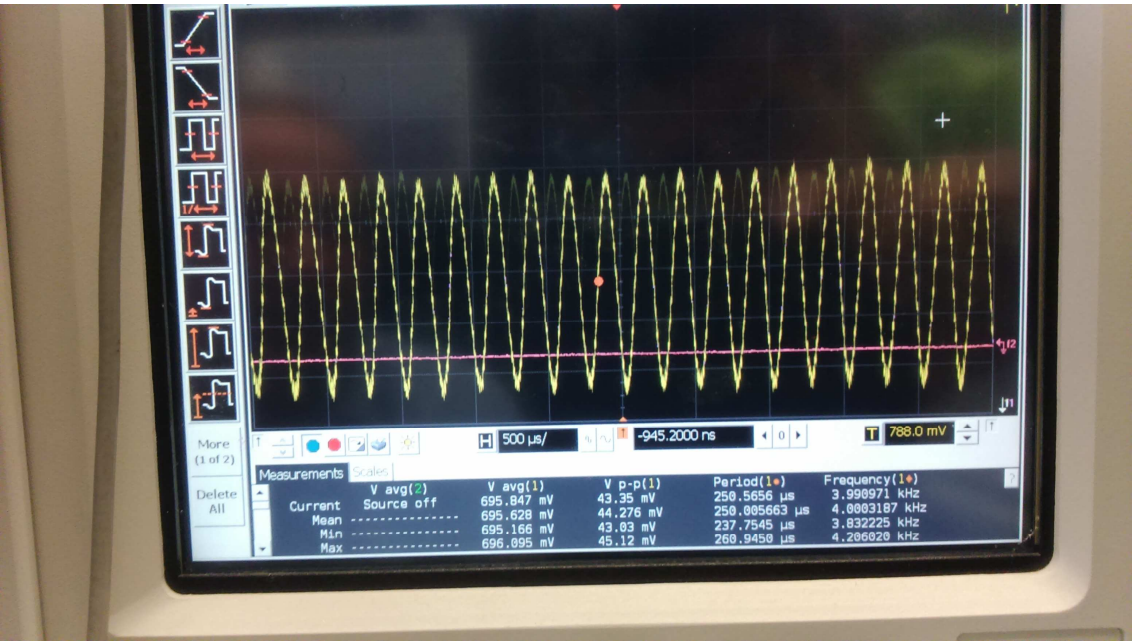
El objetivo de estas mediciones es calibrar el nivel de la señal para niveles superiores a 40 mVpp

Se utiliza el analizador de espectro FSU de Rohde & Schwarz



**Figura 5.62:** Medición de la señal 1kHz emitida por el generador AM300 utilizando el analizador de espectro FSU del departamento de electrónica de la escuela de ingeniería.

Se realiza la medida utilizando el osciloscopio,  
Se mide un nivel de 44mVpp



**Figura 5.63:** Medición de la señal 1kHz emitida por el generador AM300 utilizando el Osciloscopio Infinium MSO8104A



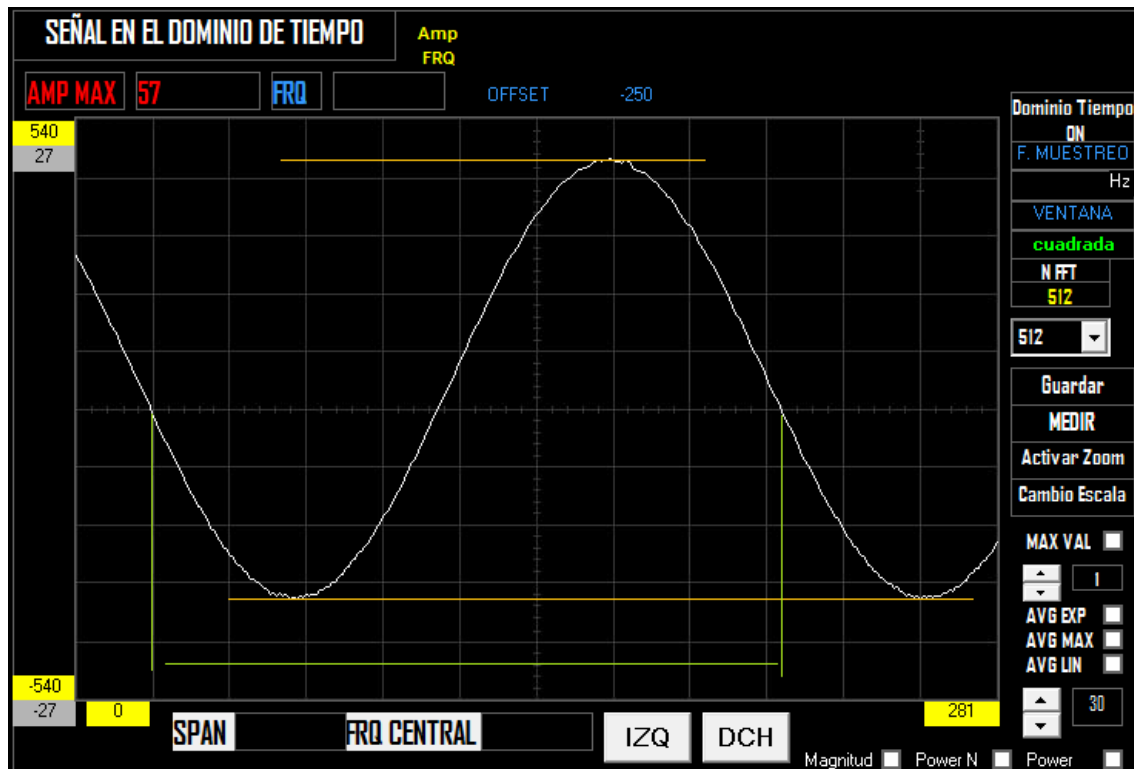


Figura 5.64: Señal medida por nuestro método en el dominio de tiempo

#### Calculo de la frecuencia

12 cuadro  $\rightarrow$  281 puntos

8,2 Cuadros  $\rightarrow$  X puntos = 192 puntos

FS 192000 muestra  $\rightarrow$  1 s

192 puntos  $\rightarrow$  Xs= 0,001 s  $\rightarrow$  1000 Hz = 1kHz

#### Calculo de la amplitud

5 cuadros  $\rightarrow$  540 puntos

7,6 cuadros  $\rightarrow$  X= 820,8  $\rightarrow$  44mVpp

La medición que tenemos por nuestro equipo es idéntica al del Osciloscopio Infinium MSO8104A

#### 5.5.4.5- Resultado del proceso de calibración

Al realizar el proceso de calibración, hemos sacado las siguientes conclusiones para cuantificar el nivel que se mide a través de nuestro método:

##### Conversión de mVpp a puntos

El modelo matemático obtenido está representado en la ecuación 5.13.

$$A^P = K_a \times A^v + K_b \quad (5.13)$$

Donde,

$A^P$ : Amplitud en puntos de resolución

$A^v$ : Amplitud pico-pico en voltaje (mV)

$K_a$ : coeficiente 1 ( $K_a=19.69$ )

$K_b$ : coeficiente 2 ( $K_b=1.24$ )

##### Conversión de puntos a mVpp

El modelo matemático obtenido está representado en la ecuación 5.14.

$$A^v = \frac{A^P - K_b}{K_a} \quad (5.14)$$

Donde,

$A^P$ : Amplitud en puntos de resolución

$A^v$ : Amplitud pico-pico en voltaje (mV)

$K_a$ : coeficiente 1 ( $K_a=19.69$ )

$K_b$ : coeficiente 2 ( $K_b=1.24$ )

En el proceso de calibración, se puede realizar conversiones de mVpp a puntos de resolución (ecuación 5.13) y de puntos de resolución a mVpp (ecuación 5.14).

Dominio de tiempo: 1mVpp = 21 puntos

Dominio de frecuencia (N\_FFT=8192, sin ventana)=253 puntos de resolución

El coeficiente para pasar de un dominio a otro es

La conversión de los puntos de resolución del dominio del tiempo al dominio de frecuencia se realiza mediante la ecuación 5.15.

$$A^P_{Freq} = A^P_{Time} \times K^P \quad (5.15)$$

Donde,

$A^P_{Freq}$ : Amplitud en puntos de resolución en el dominio de frecuencia

$A^P_{Time}$ : Amplitud en puntos de resolución en el dominio de tiempo

$K^P$ : constante (  $K^P = 12,04762$  )

La conversión de los puntos de resolución del dominio de frecuencia al dominio de tiempo se realiza mediante la ecuación 5.16.

$$A^P_{Time} = \frac{A^P_{Freq}}{K^P} \quad (5.16)$$

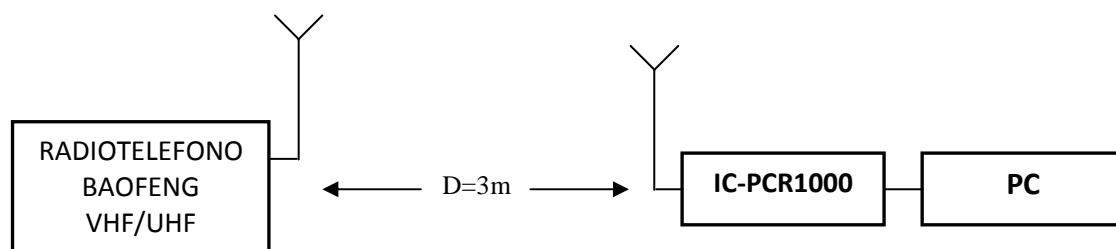
Donde,

$A^P_{Freq}$ : Amplitud en puntos de resolución en el dominio de frecuencia

$A^P_{Time}$ : Amplitud en puntos de resolución en el dominio de tiempo

$K^P$ : constante (  $K^P = 12,04762$  )

## 5.6- Detectar emisiones Utilizando el modo LSB



**Figura 5.65:** Ensayo de detección de emisiones VFH

El objetivo de este párrafo es demostrar la posibilidad de nuestro método para detectar emisiones dentro de la banda VHF. Por eso se realiza este ensayo utilizando el Radioteléfono Baofeng VHF/UHF.

El ensayo consiste en enviar una emisión por el Radioteléfono Baofeng VHF/UHF en la frecuencia 144.010 MHz en modo FM-NW, baja potencia.

En la Figura 5.66 se muestra el espectro de la señal antes de realizar una emisión por el Radioteléfono Baofeng.

Utilizamos los parámetros siguientes para el análisis: Modo de recepción LSB, ancho de banda del filtro 15kHz, frecuencia de muestreo FS=44,1kHz, número de puntos FFT: 8192, Ventana Hanning.

Demostramos en la Figura 5.76 que nuestro método es capaz de detectar la señal una vez emitida por el Radioteléfono Baofeng. El receptor IC-PCR1000 fue sintonizado en la frecuencia de 144.007MHz.

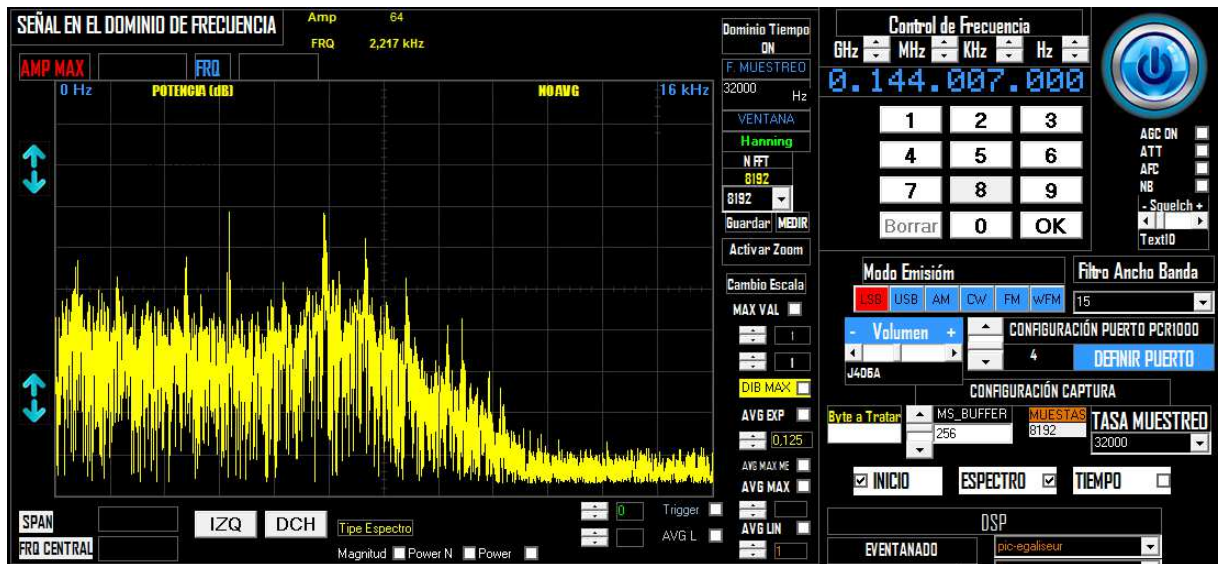


Figura 5.66: Señal recibida por nuestro metodo: Sin emisión ninguna por el Radioteléfono Baofeng VHF/UHF

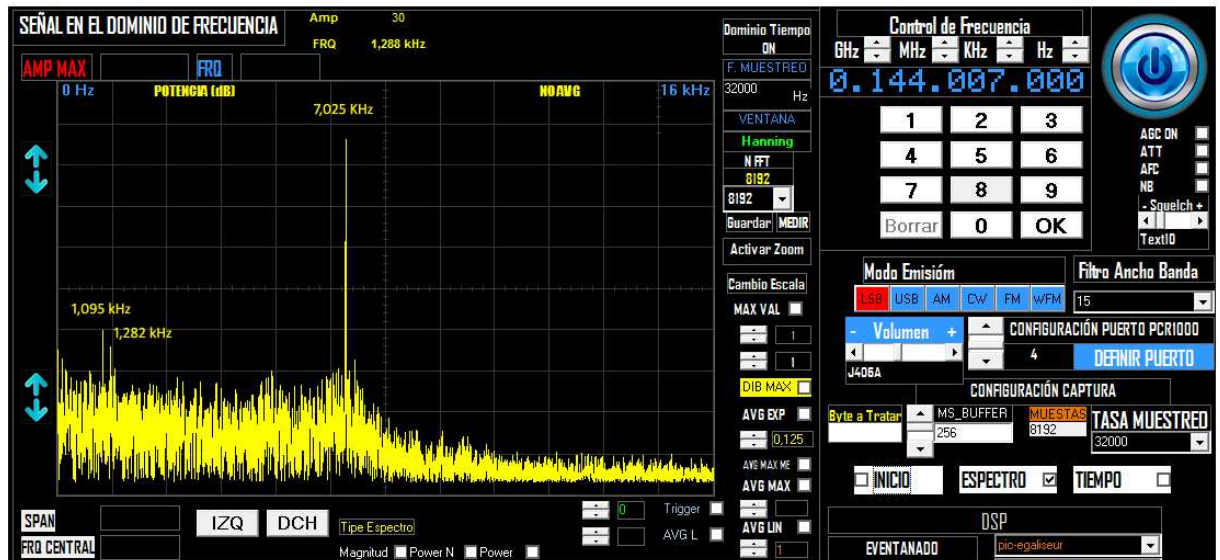


Figura 5.67: Señal recibida por nuestro método indicando que existe una emisión por el Radioteléfono Baofeng VHF/UHF

## 5.7- COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON LABORATORIO DE CERTIFICACIÓN, TEST DE COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA EMC

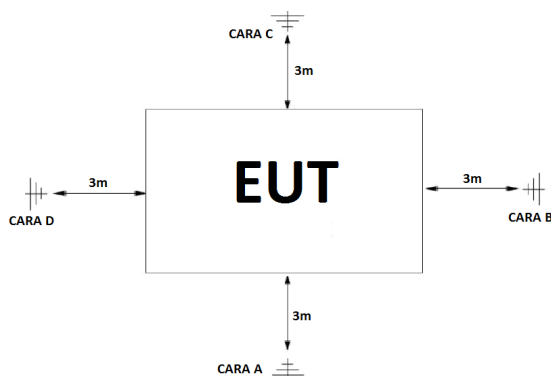
### 5.7.1- Introducción

Participamos durante el proceso de medición de certificación de equipos industriales HVAC (unidad enfriadora y bomba de calor unidad compacta aire/agua) fabricados por una empresa en España. Hemos realizado mediciones al mismo tiempo de medición por la empresa de certificación.

Durante el proceso de barrido del equipo de medición de la empresa certificadora, seleccionamos algunas frecuencias de interés, y realizamos medición por nuestro método por el fin de comparar los resultados en las frecuencias de interés indicadas por el personal de la empresa certificadora donde se encuentra una interferencia o bien una señal de ruido de fondo con una amplitud importante.

### 5.7.2- Descripción de las medidas realizadas

Se trata de realizar ensayo de test de compatibilidad Electromagnética EMC para medición de intensidad de campo eléctrico radiado por equipo eléctrico o electrónico en el intervalo de frecuencias de 30 MHz a 1 GHz y de 1GHz a 6GHz. El ensayo se realiza en un sitio de pruebas de área abierta (OATS, Open Area Test Site), también conocido según el CISPR como un sitio de pruebas de conformidad (COMTS, Compliance Test Site) [MULL et alii 01], [MOLI et alii 06].



**Figura 5.68:** Descripción de las 4 caras del ensayo realizado del equipo bajo prueba (EUT)  
Ilustración cedida por cortesía de [EMCA15]

Para no perturbar las mediciones de certificación realizadas por la empresa certificadora, cualquier objeto metálico, y/o dispositivo electrónico debe estar lejos de la antena receptora utilizada por la empresa certificadora por al menos 2m, por lo que hemos puesto la antena nuestra a 2,5m aprox. en algunos caso detrás (y en otros casos, en paralelo) de la antena de

medición de la empresa de certificación, según la autorización que hemos tenido por parte de la empresa.



**Figura 5.69:** Ensayo de test EMC realizado, Equipo HVAC, antena IC-PCR1000 detrás de la antena de la empresa certificadora



**Figura 5.70:** Ensayo de test EMC realizado, Equipo HVAC, antena IC-PCR1000 en paralelo a la antena de la empresa certificadora

## **ER CISPR 16 CLASE A**

Las pruebas se realizan haciendo un barrido de frecuencia en la banda 30 MHz-1GHz.

Se ha utilizado un analizador de espectro Rhold & Swartz 9kHz – 3 GHz

El programa que se ha utilizado EMC32

Se establece la distancia de 3m entre la antena y el equipo a medir (o 10 m según la intensidad del ruido de fondo en el entorno).

Se realiza un barrido primero para caracterizar el ruido de fondo, se guarda en la pantalla de medición con un color distinto a las mediciones que se van a realizar después en tiempo real (color azul en estas mediciones).

Se realizan mediciones en polarización vertical y horizontal.

Se realiza medición por cada cara del equipo.

Se deja la antena fija en su posición y se va girando la máquina.

Por ejemplo en un caso de medición de un equipo HVAC de la Figura 5.71 se ha detectado que existen interferencias en la frecuencia de 31 MHz. Esto es debido al motor de una bomba de condensación que estaba funcionando en este momento. Cuando funciona, el nivel de la señal llega 56.8 dB $\mu$ V (valor pico). Haciendo el promedio como especifica la norma (de tipo medio durante 15 segundos), esta interferencia no afectan al conjunto de la máquina para que cumple con los niveles establecidos por la norma.

El tiempo de medición es de 10ms y el ancho de banda es de 9kHz.

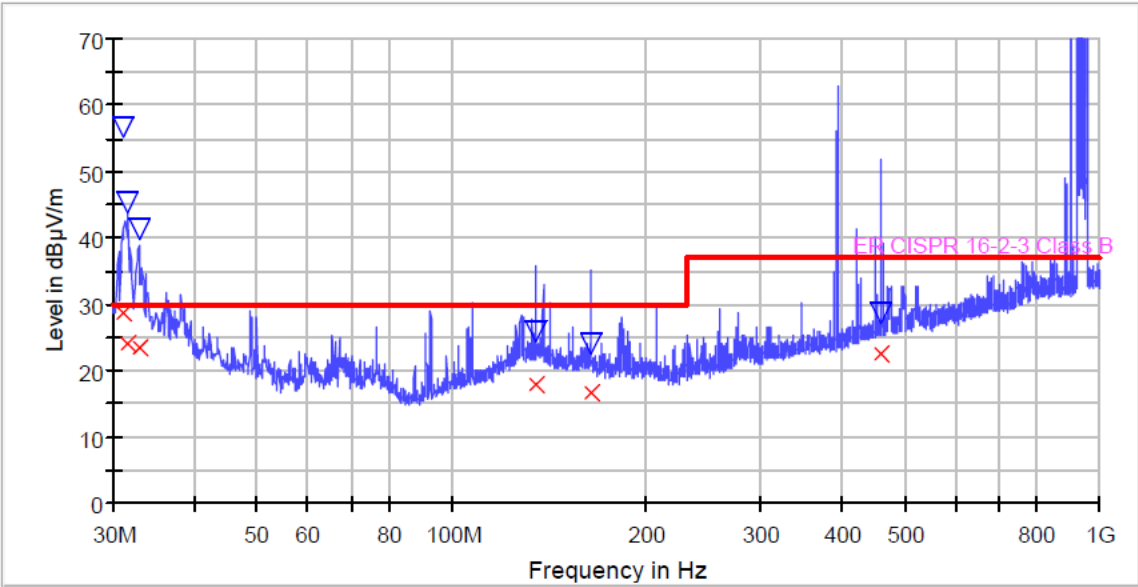
Se realizan medidas de cuasi-pico: este tipo de medición lo que hace es castigar las señales que son constantes en el tiempo y que duran; eso significa que si tenemos una interferencia superior al nivel que fija la norma, pero que el promediado durante 15 segundos es más bajo que el nivel limite, eso significa que el equipo cumple con esta norma.

Según el dispositivo a medir hace falta aplicar una norma u otra. Existen varias normas que regulan algunos tipos específicos de equipos. En el caso de no existir una norma específica para el tipo de equipo que se quiere; como el caso de las mediciones de equipos de



climatización que queremos medir, se aplica la norma general. Si por ejemplo el equipo lleva incorporado un dispositivo de comunicación (por ejemplo Zeegbee), se debe realizar un test adicional específico (Banda 1GHz-6GHz) para este dispositivo que si tiene una norma que lo regule. Además de realizar ensayos EMC, es necesario hacer un test de radiofrecuencia (RF). El test de RF consiste en medir y caracterizar la señal que emite el dispositivo (la señal de interés en sí). El ensayo de EMC mide y caracteriza la señal no deseada o el ruido.

## ER EMI CISPR 16 Class A ESPI In situ



**Figura 5.71:** Emisión radiada a 10m, cara D, de un equipo HVAC, equipo ON, polarización Vertical Ilustración cedida por cortesía de [EMCA13]

Frequency (MHz)	MaxPeak (dBμV/m)	QuasiPeak (dBμV/m)	Frequency (MHz)	MaxPeak-MaxHold (dBμV/m)
31.000000	56.8	28.7	31.600000	43.9
31.600000	45.2	24.0	134.800000	35.7
32.900000	41.2	23.5	258.400000	29.4
134.800000	25.9	17.9	394.200000	62.9
163.600000	24.0	16.5	460.000000	51.8
460.000000	28.7	22.6	524.700000	32.7
			670.300000	34.1
			787.000000	36.5
			882.700000	49.0
			936.400000	94.7

**Tabla 5.11:** Niveles de emisión radiada a 10m, cara D, de un equipo HVAC, equipo ON, polarización Vertical Ilustración cedida por cortesía de [EMCA13]

### 5.7.3- Normas aplicables por la empresa certificadora

EN 61000-6-4 (2007) / A1 (2011) & EN 61000-6-2 (2005) / AC (2005)

Electromagnetic compatibility (EMC) -- Part 6-4: Generic standards - Emission standard for industrial environments

&

Electromagnetic compatibility (EMC) -- Part 6-2: Generic standards - Immunity for industrial environments.

Norma aplicada del test por la empresa certificadora: CISPR 16-2-3 (2006)

Rango de frecuencia (MHz)	Limite de campo medido a 3m (dB $\mu$ V/m)
Desde 30 hasta 230	50
Desde 230 hasta 1000	57

**Tabla 5.12:** Límites utilizados para EN-61000-6-4 (2007)/A1 (2011)- Rango de frecuencias 30-1000MHz

Rango de frecuencia (MHz)	Limite de campo medido a 3m (dB $\mu$ V/m)	
	promediado	pico
Desde 1000 hasta 3000	56	76
Desde 3000 hasta 6000	60	80

**Tabla 5.13:** Límites utilizados para EN-61000-6-4 (2007)/A1 (2011)- Rango de frecuencias 1000-6000MHz

### 5.7.4- Instrumental utilizado por la empresa de certificación



**Figura 5.72:** Equipos utilizados por la empresa certificador para realizar el test EMC



**Figura 5.73:** Instrumental utilizado por la empresa de certificación

### **5.7.5- Resultados de las mediciones**

En esta parte se presentan los resultados de las mediciones y se realiza una comparación entre lo que medimos con nuestro método y lo que se ha medido con los equipos de la empresa certificadora.

Aunque realmente para poder comprobar dos métodos con precisión, se debe utilizar las mismas condiciones: a saber, utilizar la misma antena, el mismo cable, el mismo conector, la misma distancia, y realizar el barrido en el mismo tiempo. Todos estos factores no han sido posibles en nuestro caso, y aquí solo se trata de ver si lo que se mide con nuestro método es algo próximo a las mediciones de un laboratorio nacional de certificación de equipos, que tiene equipamiento de medición calibrado según las normas.

Se presentan los resultados de forma resumida en formato de tablas, y después en el anexo mediciones se presentan los resultados completos de las mediciones de forma más detallada, presentando la forma del espectro, y más datos.

La tabla 5.14 presenta los resultados de la medición de la cara A de un equipo HVAC. La tabla 5.15 presenta los resultados de la medición de la cara B de un equipo HVAC. La tabla 5.16 presenta los resultados de la medición de la cara B de un equipo HVAC.

Se utilizan los símbolos RF e IM para indicar respectivamente Ruido de fondo e Interferencia de la Máquina.

Como hemos dicho anteriormente, las frecuencias de mediciones presentadas en estas tablas han sido elegidas de forma aleatoriamente por el personal de la empresa certificadora que mientras realizaban el barrido de las bandas, me facilitaban algunas frecuencias con su nivel, en este momento, yo sintonizaba el receptor IC-PCR1000 a la frecuencia indicada, y realizaba las mediciones que a continuación se presentan.

Como se puede observar en las tablas se realizaron 24 mediciones, de las cuales 9 son interferencias producidas por el equipo bajo prueba.

En 3 casos no hemos podido detectar nada en la frecuencia indicada por la empresa certificadora. En 22 casos hemos podido detectar la interferencia.

**Se utilizan los siguientes símbolos en las tablas:**

Tipo: Tipo de interferencia: RF Ruido de fondo / IM: Interferencia de la máquina

F\_EMP: Frecuencia indicada por la empresa certificadora

Ni\_EMP: Nivel Medido por la empresa certificadora

Ant\_EMP: Polarización de la antena de la empresa certificadora

F\_BAKK: Frecuencia en la que hemos detectado la interferencia

Ni\_BAKK: Nivel medido por nuestro método

F2\_BAKK: Frecuencia de la interferencia en baja frecuencia

Ni\_PCR: Nivel del medidor

DIF\_M: Diferencia entre el nivel que medimos con nuestro método y nivel medido por la empresa certificadora

V: Polarización Vertical

H: Polarización Horizontal

X: no se ha detectado nada

Mag: magnitud

### CARA A

Tipo	F_EMP	Ni_EMP	Ant_EMP	F_BAKK	Ni_BAKK	F2_BAKK	Ni_PCR	DIF_M
	MHz	dBμV/m	Polarización	Frecuencia	dBμV	kHz	Smeter	Diferencia
RF	36.01	47	V	36.004	44	6.731	153	-3
RF	36.01	47	V	36.007	44	3.840	153	-3
RF	47.2	37.5	H	47.214	36	7.825	14A	-1.5
RF	47.2	37.5	H	47.217	41	4.617	14B	+3.5
RF	47.2	37.5	H	47.370	34	10.173	149	-3.5
RF	120.9	51.64	V	120.895	25	3.208	114	-26.64
IM	294.88	38.7	V	294.876	20	5.869	112	-18.7
RF	1097.2	76.5	V	1097.153	8 MAG	2.981	10A	
RF	1081,6	72,25	V	X	X	X	X	X

Tabla 5.14: Resultados de medición Equipo HVAC-CARA A

### CARA B

Tipo	F_EMP	Ni_EMP	Ant_EMP	F_BAKK	Ni_BAKK	F2_BAKK	Ni_PCR	DIF_M
	MHz	dBμV/m	Polarización	Frecuencia	dBμV	kHz	Smeter	Diferencia
RF	35.96	36.36	V	36.005	45.75	5.742	153	+9,39
RF	35.96	36.36	V	36.005	36.75	5.668	152	+0,39
IM	39.9	37.9	V	39.991	36.75	6.221	1126	-1,15
IM	47.9	36.5	V	47.989	20.4	1.619	1159	-16,1
IM	62.9	31.9	V	62.987	31	2.392	111D	-0,9
RF	97	33.5	V	97.002	29	1.803	113F	-4,5

Tabla 5.15: Resultados de medición Equipo HVAC-CARA B

### CARA C

Tipo	F_EMP	Ni_EMP	Ant_EMP	F_BAKK	Ni_BAKK	F2_BAKK	Ni_PCR	DIF_M
	MHz	dBμV/m	Polarización	Frecuencia	Mag	kHz	Smeter	Diferencia
IM	68.48	36.5	V	68.488	3.8 MAG	2.392	1111	
IM	68.48	36.5	V	68.489	4.2 MG	1.619	1111	
IM	68.48	36.5	V	68.490	4.6 MG	0.699	1111	
IM	132.48	42	V	132.475	4 MG	1.214	1110	
IM	132.48	42	V	132.485	39 PN	6.147	112C	
RF	134,8	39	H	X	X	X	X	X
RF	425.53	53.7	H	425.539	7.2 MG	1.582	1110	
RF	425.53	53.7	H	425.539	30 PN	1.582	1110	
RF	596,16	52,8	H	X	X	X	X	X

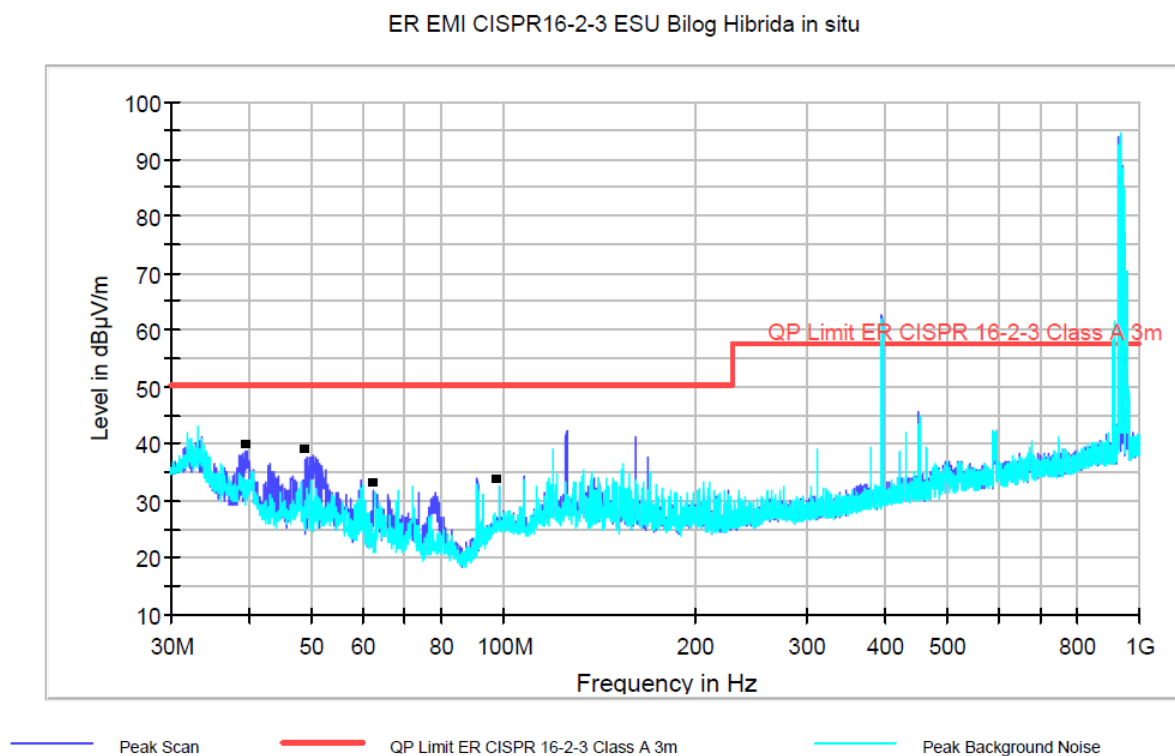
Tabla 5.16: Resultados de medición Equipo HVAC-CARA C

En la Figura 5.74 se muestra el resultado del test de medición realizado por la empresa certificadora. Indicamos con un pequeño cuadro negro, las frecuencias donde hemos realizado la medición para realizar una comparación.

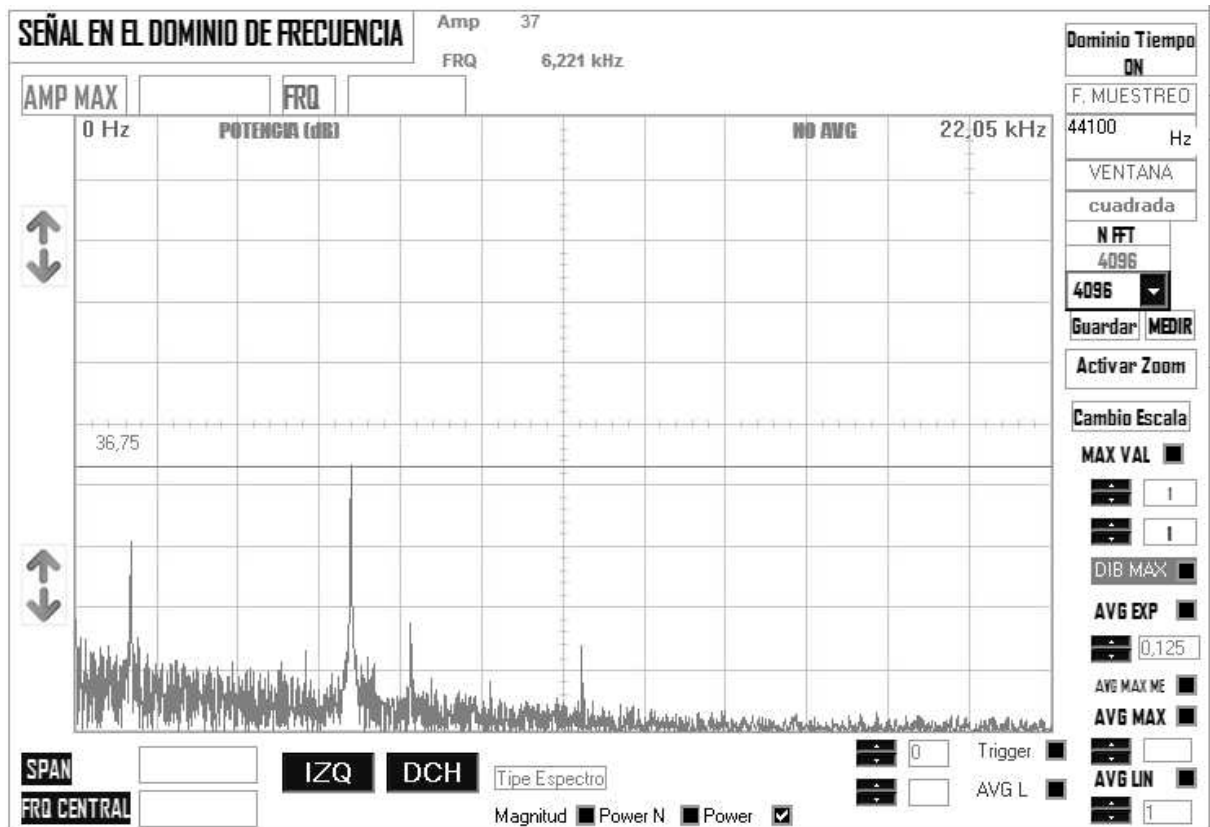
La figura 5.75 es el resultado de la medición realizada por nuestro método. Como se puede ver, somos capaces de detectar la interferencia electromagnética, y también somos capaces de cuantificar el nivel de la interferencia.

En la Figura 5.76 se muestra otro ejemplo de ensayo, donde se va a realizar la comparación de una interferencia detectada por la empresa certificador en la frecuencia 679,56 MHz con un nivel de 52,3 dB $\mu$ V/m.

## ER EMI CISPR16-2-3 ESU Bilog Hybrid in situ



**Figura 5.74:** Emisión radiada a 10m, cara B, del equipo HVAC, equipo ON, polarización Vertical  
Ilustración cedida por cortesía de [EMCA15]



**Figura 5.75:** Interferencia detectada por nuestro metodo en la frecuencia 39.991 MHz con un nivel de 36.75 dBμV

#### Parámetros de medida

Frecuencia indicada por empresa certificadora  
39.9 MHz NIVEL 37.9 dBμV/m

REF medida: 2015\_06\_16 CARA B\_Exc\_H\_2

Parámetros: IC-PCR1000

Frecuencia IC-PCR1000: 039.991 MHz

LSB

Filtro BW=50

Volumen: J4060

FS=44100

N\_FFT=4096

Ventana: Cuadrada

Tipo de medida: Power

Portátil HP1 sin fuente de alimentación

Y\_MAX=85

Y\_MIN=0

X\_MAX=2048

X\_MIN=0





**Figura 5.76:** Ensayo maquina HVAC2

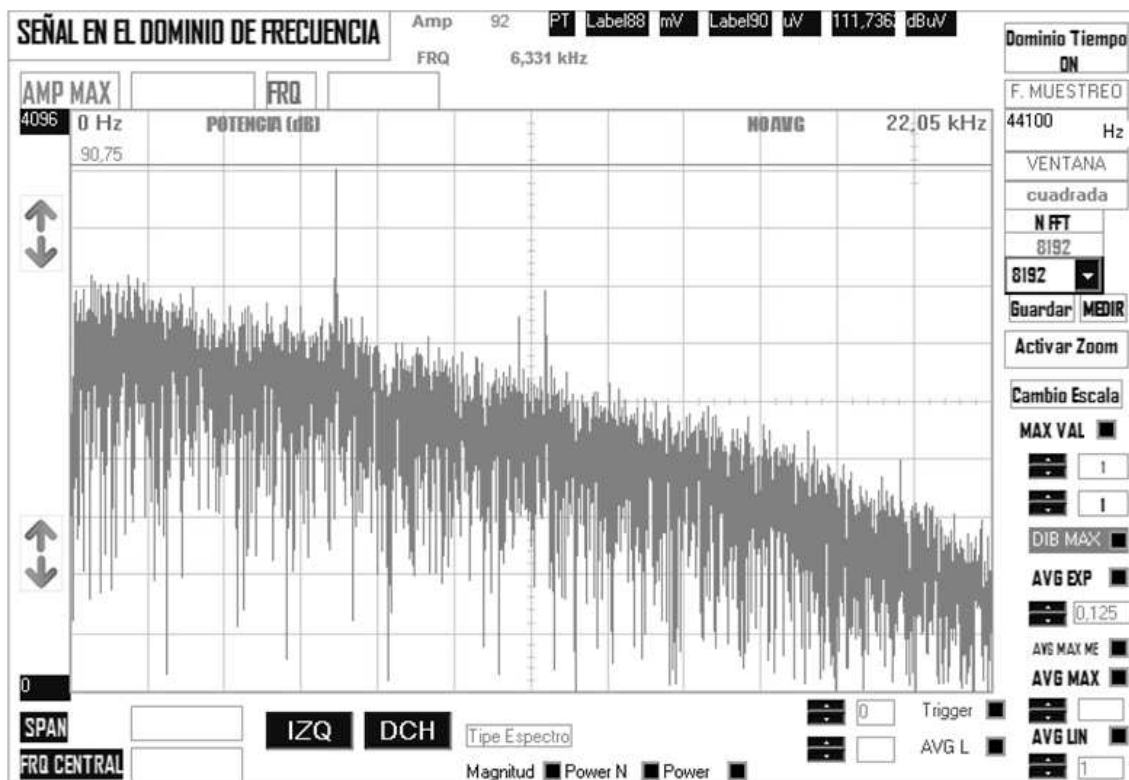
Freq. ICOM- 679.577 MHz

Volumen: J4060 – Modo LSB – Filtro BW: 50

FS: 44100 – Ventana Cuadrada – N\_FFT: 8192 – Nivel Smeter: 112

Amplitud medida 92 puntos

Frq medida: 6,331 kHz



**Figura 5.77:** Interferencia detectada por nuestro método en la frecuencia 679.577 MHz con un nivel de 36.75 dBμV



## 5.8- Problemas que afectan al método de medición

### 5.8.1- Introducción

Hemos comprobado 2 problemas principales que afectan al método de medición que desarrollamos:

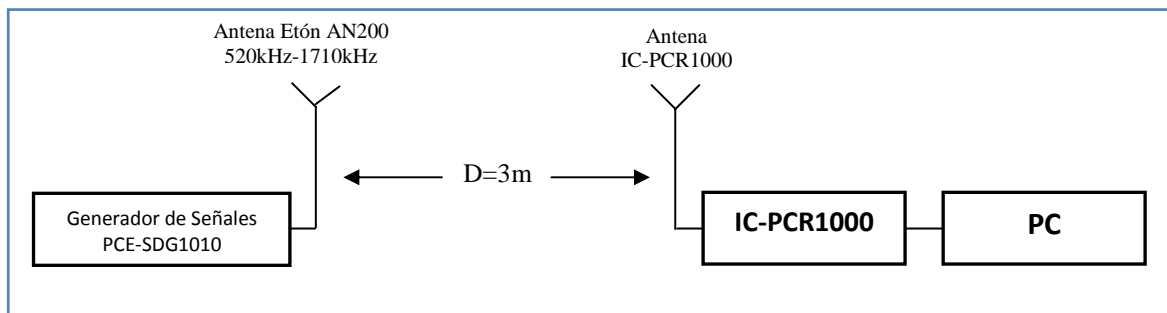
- Efecto de la fuente de alimentación del PC
- Efecto de la comunicación serie RS232

A continuación presentamos mediciones para ver el efecto de estos dos factores, y finalmente presentamos las soluciones que proponemos para superar estos problemas.

### 5.8.2- Efecto de la fuente de alimentación del PC

Se realiza un ensayo de medición de una señal generada por PCE-SDG1010 y enviada a través de la antena Etón AN200 con banda de frecuencia 520kHz-1710kHz por aire libre a una distancia de 3m del receptor IC-PCR1000 (ver figura 5.32). Se mide una señal de 13 kHz, modulando en AM a una portadora con frecuencia de 1MHz, y amplitud de 40 mVpp.

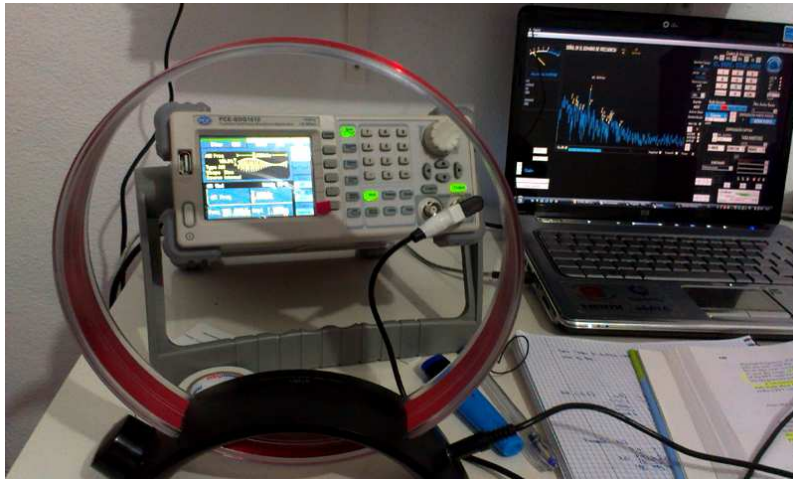
Se sintoniza el receptor PCR a la frecuencia 1 MHz. Se utiliza N=1024, Ventana Hanning y una frecuencia de muestreo 44,1 kHz



**Figura 5.78:** Ensayo de medición de una señal generada por PCE-SDG1010 y enviada a través de la antena Etón AN200 por aire libre

#### 5.8.2.1- Descripción del ensayo

Se utiliza el generador de Señales PCE-SDG1010 (10MHz) conectado a través la salida "OUT1" a la antena Etón AN200 con banda de frecuencia 520kHz-1710kHz.



**Figura 5.79:** antena Etón AN200 con banda de frecuencia 520kHz-1710kHz

Los parámetros del generador de señales son los siguientes:

Señal sinusoidal, frecuencia: **550 kHz**, **Amp: 1.1 Vpp**, **Mod: AM**, **5 kHz**

Se utiliza el receptor PCR1000 conectado a la antena ICOM PCR1000.

Los parámetros del receptor son los siguientes:

Frecuencia de recepción 550 kHz, modo AM, Filtro 15kHz, Volumen J4040.

Los parámetros del análisis son los siguientes:

N FFT = 2024, Frecuencia de muestreo: 44,1 kHz, Ventana Blackman Harris

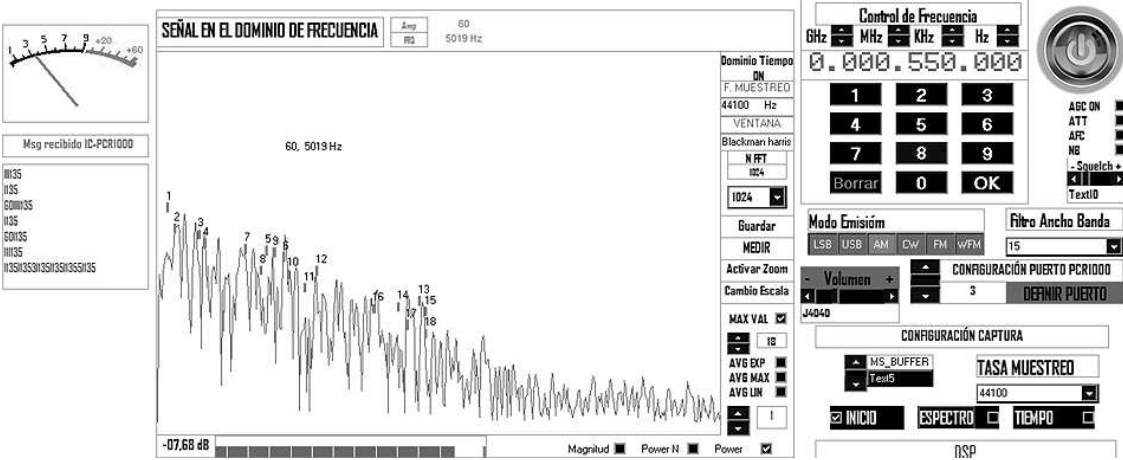
La antena de recepción utilizada en este ensayo es la del ICOM que se muestra a continuación



**Figura 5.80:** antena del receptor IC-PCR1000

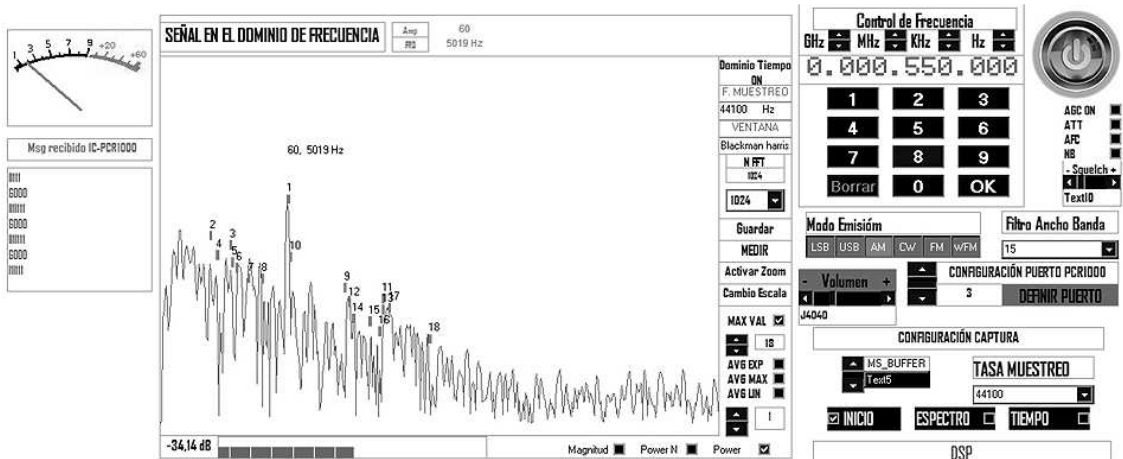
Se realizan dos tipos de medidas, la primera mediante el cálculo de la potencia, y la segunda, mediante el cálculo de la magnitud de la DFT.

Con la fuente de alimentación es difícil localizar la emisión del pico de 5 kHz que enviamos desde el generador de señales. Se obtiene el resultado de la Figura 5.81.



**Figura 5.81:** Medición de la señal emitida por el generador de señales. El PC que utilizamos en nuestro método tiene conectada la fuente de alimentación

Quitando la fuente de alimentación del PC, se nota que el ruido baja mucho, y aparece el pico de 5 kHz claramente (Figura 5.82).



**Figura 5.82:** Medición de la señal emitida por el generador de señales. El PC que utilizamos en nuestro método NO tiene conectada la fuente de alimentación

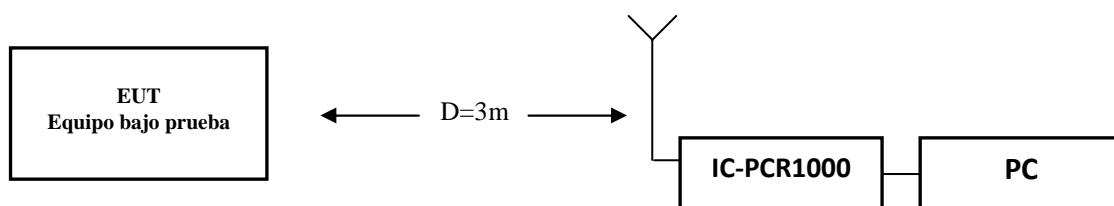


**Figura 5.83:** Posición del conector de la fuente de alimentación del PC portátil que utilizamos

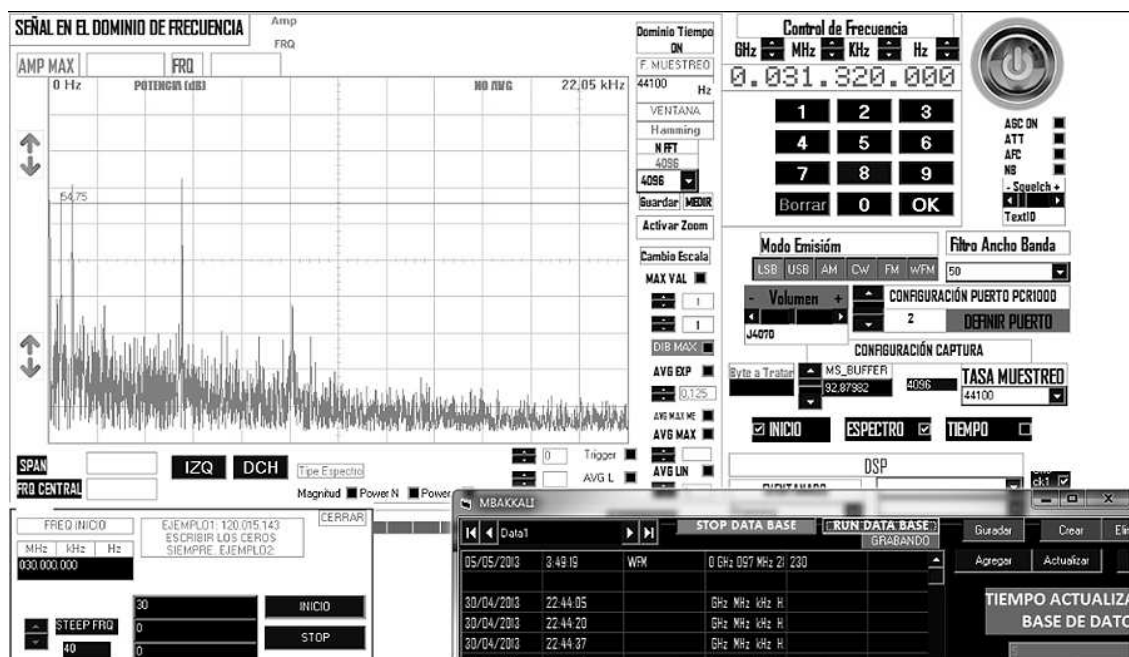
### 5.8.2- Efecto de la comunicación serie RS232

Uno de los problemas detectados para el método de medición que desarrollamos es el ruido posible que puede causar el puerto serie. Para esta Tesis se han utilizado 3 PCs portátiles diferentes, uno de ellos tiene la entrada de sonido en una posición muy cerca de una entrada USB.

A continuación ponemos ejemplos de mediciones realizadas para ver el efecto del ruido del puerto serie.



**Figura 5.84:** Ensayo de medición test de compatibilidad electromagnética EMC realizado durante el prorese de medición de certificación de equipos industriales HVAC



**Figura 5.85:** Proceso de escaneo automático, Frecuencia 31.320MHz, modo LSB

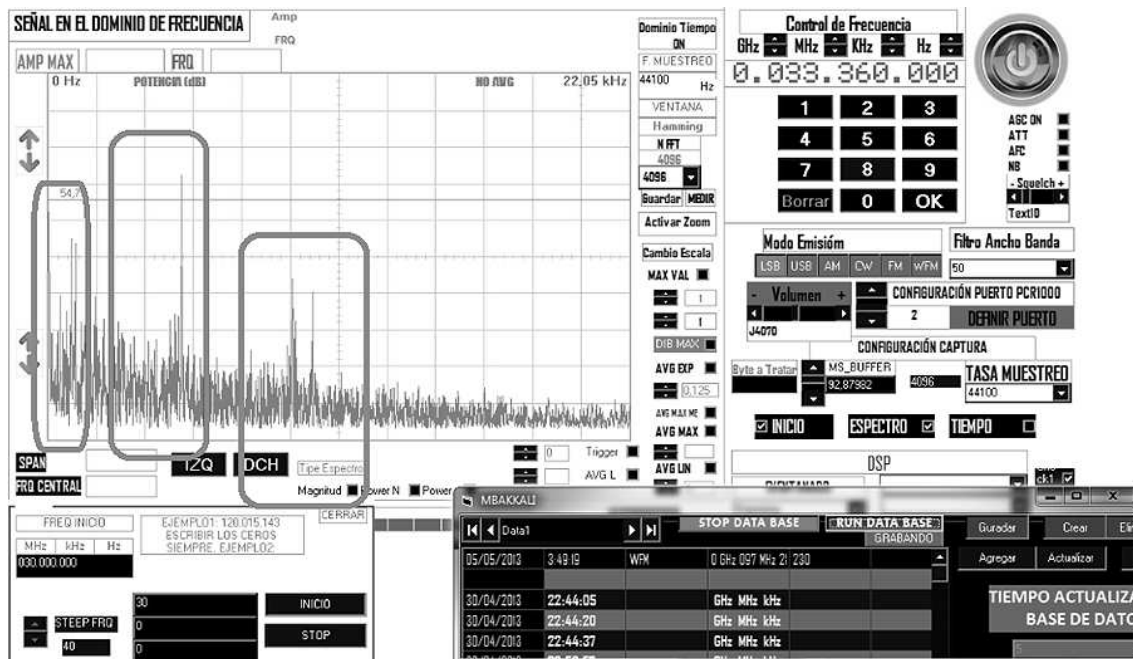


Figura 5.86: Proceso de escaneo automático, Frecuencia 31.360MHz, modo LSB

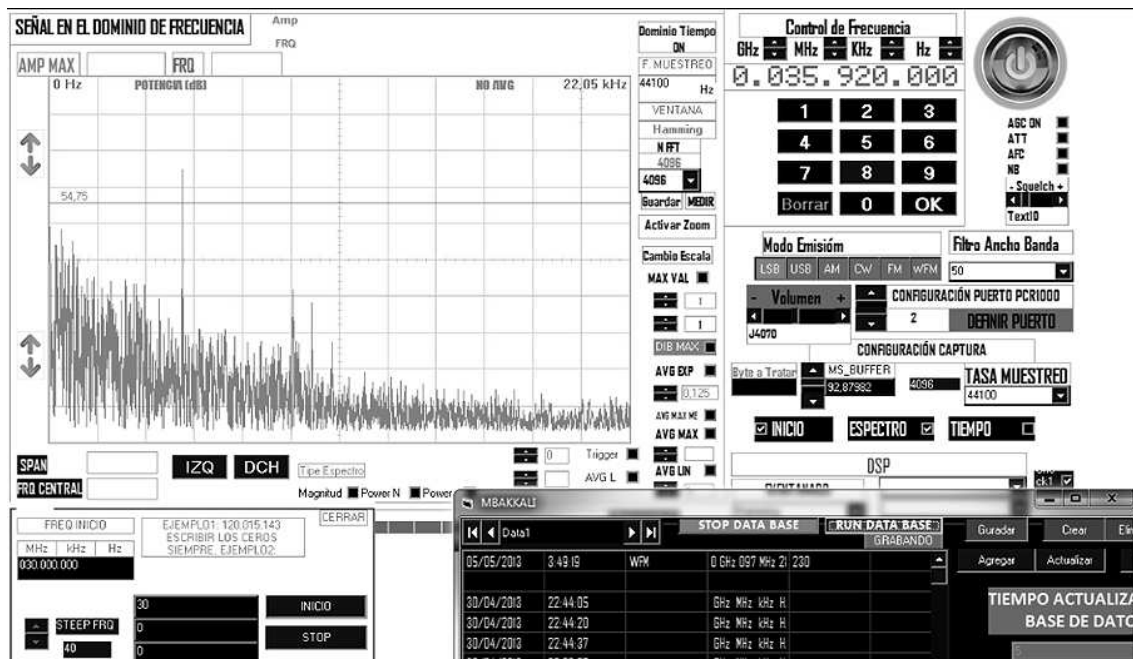


Figura 87: Proceso de escaneo automático, Frecuencia 35.920MHz, modo LSB

Para remediar al problema de interferencias por comunicación serie se puede utilizar la solución que hemos presentado en [BAKK et alii 12].

## 5.9- Evaluación de las capacidades del método

Hemos realizado estudio de comparación entre las especificaciones mínimas que debe tener un analizador de espectro para realizar test de pre-conformidad de compatibilidad electromagnética y las características de nuestro método (Figura 5.20). El resultado del estudio de comparación da por nuestro método como válido para realizar dicho test.

Como podemos ver en la Tabla 5.18 y 5.19, que representan respectivamente la sensibilidad del receptor IC-PCR1000, así que de la tarjeta de sonido. Con la tarjeta de sonido configurada a IEEE-32 bits y el receptor IC-PCR1000 en modo SSB, se obtiene una sensibilidad impresionante, que es una de las ventajas de nuestro método. Otra ventaja de nuestro método es la posibilidad de medir señales en banda estrecha. Este tipo de medición es muy importante en caso de tener señales muy cerca y podría ser detectado como si fuera una señal única si la selectividad del instrumento de medición no es lo suficiente estrecha.

Las especificaciones totales de nuestro sistema de medición desarrollado presentan una excelente capacidad.

Modes of reception	Bandwidth
AM	15/6 kHz
SSB	2.8 kHz
CW	2.8 kHz
FM-Narrow	15/6 kHz
FM-Wide	230 kHz

**Tabla 5.17:** Filtro BW del receptor IC-PCR1000

Frecuencia (MHz)	SSB/CW 2.8kHz filtro (10 dB S/N) dBμV	AM 6kHz filtro (10 dB S/N) dBμV	FM 15kHz filtro (12 dB SINAD) dBμV	WFM 230kHz filtro (12 dB SINAD) dBμV
0.5 - 1.8	-5.04	7.96	--	--
1.8 - 28	-11.1	2.92	--	--
28 - 30	-11.1	2.92	-6.02	--
30 - 50	-9.12	5.11	-6.02	--
50 - 700	-14.0	0.00	-9.90	-2.05
700 - 1300	-12.0	2.28	-7.96	0.00

**Tabla 5.18:** Sensibilidad del receptor IC-PCR1000

Numero de Bits	Sensibilidad	Sensibilidad (dB $\mu$ V)
8 bits	3.9215 mV	71.9 dB $\mu$ V
16 bits	12,207 $\mu$ V	21.6 dB $\mu$ V
24 bits	0.0596 $\mu$ V	-24.5 dB $\mu$ V
IEEE-32 bits	0,00023 $\mu$ V	-72,65 dB $\mu$ V

**Tabla 5.19:** Sensibilidad de la tarjeta de sonido

Parámetro	Especificaciones test de pre-conformidad	Especificaciones del IC-PCR1000	Especificaciones de la tarjeta de sonido	Especificaciones totales del sistema
Rango de frecuencia	100kHz - 1GHz	10 kHz a 1300 MHz	50 Hz a 20kHz	50 Hz a 1300 MHz
Resolución BW IF	9 or 10kHz y 100 o 120kHz	2.8/6/15/50/230 kHz	1 Hz - 374 Hz	2.8/6/15/50/230 kHz por Hw 1 Hz - 374 Hz by Sw
Funciones de detección	Pico y promediado	-	-	Pico, Promediado y promediado EXP
Sensibilidad	<20dB $\mu$ V en 100kHz BW	<0dB $\mu$ V a 230kHz BW  <-5.04 dB $\mu$ V a 2.8 kHz BW	-72,65 dB $\mu$ V	-72,65 dB $\mu$ V para frecuencias <20kHz
				<0dB $\mu$ V a 230kHz BW
				<-5.04 dB $\mu$ V a 2.8 kHz BW
Visualización	Libre y modo max-hold	Libre y modo max-hold	Libre y modo max-hold	Libre y modo max-hold
Impedancia de entrada	50 $\Omega$	50 $\Omega$	-	50 $\Omega$

**Tabla 5.20:** Comparación entre las especificaciones mínimas que debe tener un analizador de espectro para realizar test de pre-conformidad de compatibilidad electromagnética y las características de nuestro método





## CAÍTULO 6: RESULTADOS

**6.1- Real time digital signal processing and measurement method for electromagnetic compatibility verification into the ships**, presentado en el congreso internacional "Información y Tecnologías Digitales IDT 2015" organizado por el IEEE en Zilina, Eslovaquia. Publicado en el "IEEE Xplore Digital Library" , el 9 de julio de 2015.

**6.2- Real Time Digital Signal Analysis and Measurement**, presentado el la conferencia Internacional "Advances in Computing, Electronics and Communication ACEC 2013", organizado por el Instituto de Investigación de Ingenieros y Doctores IRED en Zurich, Suiza. Publicado en la revista "SEEK Digital Library", pp 25-30 ISBN 978-981-07-7965-8, el 13 de octubre de 2013.

**6.3- IC-PCR1000 Control Using a Wireless Sensor Network (WSN)**, publicado en la Revista International "Journal of Computer and Communication Engineering", Vol. 1, No. 3, pp 290-292 ISSN: 2010-3743, el 3 de septiembre de 2012.

**6.4- Feasibility study of advancing and sitting up Power Line Communication (PLC) system under Environment of Electromagnetic Compatibility (EMC) into the ships**, presentado en el congreso "9th International Conference on Electrical Power Quality and Utilization, 2007. EPQU 2007" Organizado por el IEEE el 9-11 de octubre de 2007 en Barcelona. Publicado en el "IEEE Xplore Digital Library" , el 11 de octubre de 2007

**6.5- Sistemas de Comunicaciones a través de la Red Eléctrica. Efectos del PLC en los Unifamiliares**, presentado al congreso "II jornadas internacionales de Ciencias y Tecnologías" JICT2007, organizado por el Instituto de Nuevas Tecnologías de Información y Comunicación, Universidad de Málaga y Universidad Abdelmalek Essaâdi, los 21-23 de marzo de 2007 en Málaga.



# Real Time Digital Signal Processing and Measurement Method for Electromagnetic Compatibility Verification into the Ships

M. Bakkali<sup>1,2</sup>, C. Mascareñas-Perez-Iñigo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Control and Communication Department, Air Thermodynamics Division, CIAT, Córdoba (Spain)*

<sup>2</sup> *Departamento de Ciencias y Técnicas de la Navegación, Cadix University, Cádiz, (Spain)*

E-mail address: medcasem@hotmail.com - mbakkali@grupociat.es / carlos.mascarenas@uca.es

**Abstract**— In this paper, we present a new Electromagnetic Compatibility (EMC) measurement and verification system for ships, based on real time digital signal processing techniques, in combination with a VLF-UHF receiver. We programmed all the algorithms for the systems, in order to have reliable software, known, expandable and intuitive. The basis of our strategy is first described, then, our implemented computing algorithms are explained. Recommendations and examples about the significant parameters for dealing with the measurement process are given, and finally several measurements are performed to validate the proposed method.

**Keyword:** Electromagnetic Compatibility (EMC), Electromagnetic Interference (EMI), Digital Signal Processing (DSP), Sound Card, Maritime Radiocommunications.

## I. INTRODUCTION

Any metallic vessel behaves like a Faraday cage from which the radiation generated on board will probably remain on the ship and this situation will increase the possibility of EMC problems [1, 2]. On board the vessel there are a lot of radio-communication and radio-navigation equipment [3, 4] including VHF, HF, UHF communication transmitters, X-band, S-band Radar, satellite communications transmitters, Automatic Identification system (AIS), among others. This equipment emits electromagnetic radiation during their normal operation; in this case we are talking about on-board intentional electromagnetic radiation i.e. emissions. Moreover, inside the ship we can find many devices and apparatus like the air conditioning equipment, machinery being powered by motors, generators to operate tools, inverters, computers, printers, vacuum cleaners, washing machine, etc. These devices can emit non-intentional electromagnetic radiation during their normal function. Each device installed on the ship must comply with the current regulations, but when numerous electrical and electronic apparatus and equipment on board are working together in the vicinity, this leads to the creation of a hostile electromagnetic environment [2].

In a medium or large size warship, at least a spectrum analyzer is used for monitoring the radio-link quality for HF, VHF or UHF, even apart from the sensitive equipment Electronic Warfare (EW) or SIGnals INTelligence (SIGINT), which cannot be displaced by the ship given its size and weight

characteristics. However, on civilian vessels, the only tool for detecting a malfunction or interference is the LF-HF receiver. Assuming that on-board the ship there is, a Radio official who knows what to do, a portable receiver, and a portable antenna, which is highly improbable since it came into full force on the 1999 "Global Maritime Distress and Safety System" GMDSS [5], when such officers were landed, and just until 1 February 1999 were part of the cadres of minimum crew of the ship since the radio was invented, becoming now a maintenance staff at ground stations or companies of the ports.

Thus, and particularly when on-board there is no calibrated equipment for spectrum analysis, it is necessary to resort to the ingenuity and symbiosis between electronic and computer sciences, to detect, locate and if possible identify the sources of noise and interference that cause malfunctions in the rest of the ship's equipment. The availability of a reliable software, known, expandable and intuitive, with VLF-UHF receiver, weighing less than one kilogram and that can be powered with batteries will be one of the best tools available for the electro-technical officer of the ship, department staff of machinery with Radio-electronic training, as provide the Manila Amendments (2010) for the on training, certification, and watch-keeping for the seafarers signed by hundred of International Maritime Organization (IMO) members [6]. For this purpose, we developed various autonomous algorithms running in a parallel way, and making up, in the whole, a new low cost electromagnetic compatibility (EMC) measurement and identification system for ships (Figure 1). First, we design algorithms for controlling the IC-PCR1000 [7] receiver for the task of receiving signals in the band above 10 kHz. It is a wide band receiver that covers the frequency from 10 kHz to 1300 MHz, with different reception modes (AM, FM, FM-W, C'W, LSB, and USB) (Table I). The IC-PCR1000 is connected to the PC sound card, leading to a powerful low cost system for signals analysis and measurement [8]. Second, we compute the low-level programming for the PC sound card in order to capture the signal received by the IC-PCR1000 for their further processing. The sound card has been used in several applications in the last years [15-21]. In most of the cases, sound card was used at the high-level programming, using some pre-existing tools and library available in software like Labview and Matlab. The sound card has a very good



capability, but it is necessary to compute the low-level programming, in order to control the parameters which affect the capturing process. To our knowledge, this task has not been explored previously. Third, we program various algorithms; for the calculation of the signal spectrum [9], for the signal analysis [10], for the Digital Signal Processing [11], for measuring the signal detected [12, 13, 14]. Fourth, we build a visual interface for the control and data displays of the system measurement. Last, we create a strategy to save data into a data base containing the relevant information.

The task of measuring signals and detecting Electromagnetic interferences (EMI) require understanding of several factors [22, 23]. From one side, it is necessary to know the nature of the interference we are looking for, the frequency range of these interferences, the adequate antenna [24], cables and connectors to be used. From the other side, we must recognize which bandwidth (BW) filter must be applied, when it is necessary to use the averaging techniques and what type is appropriate, how many data samples must be captured, what sampling frequency should be selected, how many FFT points must be calculated, what is the optimal buffer size, and other important parameters. Changing one of these parameters will affect the whole measurement process. Each of these factors requires special consideration.

## II. SYSTEM DESCRIPTION

The basic scheme for the system measurement is represented in Fig. 1. Next we describe each stage of the system.

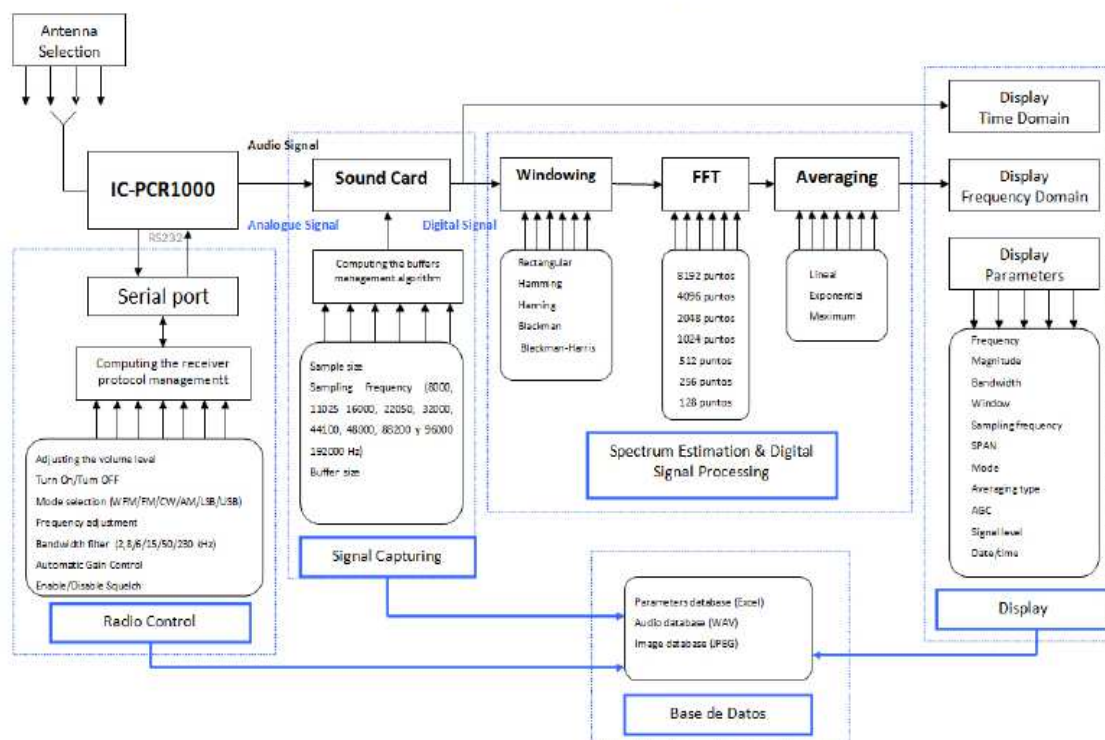


Figure 1. The basic scheme for the system measurement developed

### A. Radio Control

The IC-PCR-1000 (Fig. 2) is a wideband radio receiver that is controlled via the PC serial port. It has wideband coverage from 10 kHz to 1.3 GHz and can operate at CW, LSB, USB, AM, FM and WFM mode (Table I). This receiver will be our primary interface with radio-frequencies. We will use the audio output to have an intermediate frequency on which will perform the spectral analysis by the next stages. So, we will have a maximum bandwidth of 20 kHz.



Figure 2. IC-PCR1000 receiver

TABLE I  
IC-PCR1000 RECEPTION MODE

RX mode	Description	Compatible Emission class
AM	Amplitude Modulation Double Sideband	6K00A3EJN
USB	Superior Single Side Band (SSB) with suppressed carrier (Analog Phony)	2K70J3EJN
LSB	Inferior Single Side Band (SSB) with suppressed carrier (Analog Phony)	2K70J3EJN
CW	Carrier interruption Telegraphy	1K00A1AAN or 1K00J2AAN
FM	Frequency Modulation, commercial quality	15K0F3EJN or 15K0G3EJN
WFM	Frequency Modulation, Broadcasting stereo quality.	150KF3EGN or 150HG3EGN

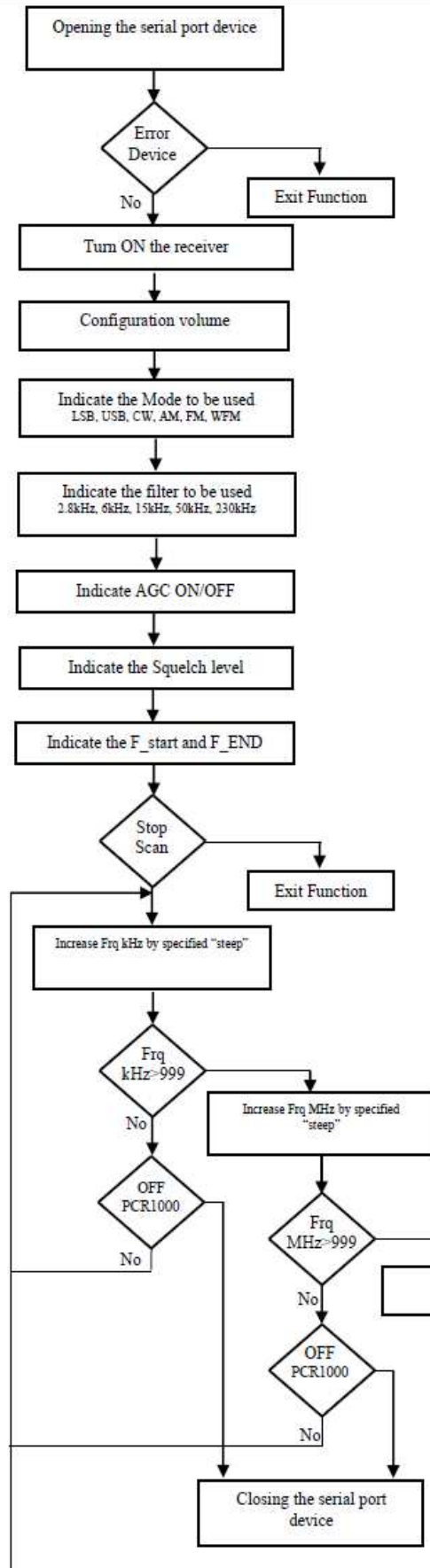


Figure 3. Monitoring system algorithm flowchart for IC-PCR1000 scanning

For example, we have implemented a monitoring system algorithm for scanning some important maritime frequencies and when detecting emission at these specific bands, the system triggers an alarm, saves the detected events in a data base with information of the time, level of the signal, frequency, etc. In addition we store the image of the spectrum for further analysis. This algorithm is described in Figure 3.

### B. Signal Capturing

The signal received by the IC-PCR1000 is a continuous signal  $x(t)$ . This signal will be sampled into a sequence of a discrete data  $x[n]$  (EQ1). This periodic sampling is achieved by using the PC-sound card. For this purpose, we compute a low-level programming algorithm in order to control the tasks of capturing signal, and buffers management to store data in the optimal way without losing information.

$$X_N = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \quad (1)$$

Several implementations can be used to capture the signal using the sound card. Nowadays, advanced techniques known as —simultaneous multi-buffer acquisition and readout (SAR) mode [22] are used to improve the precision of the capturing method with no information loss, especially used in the case of measuring pulse that can appear in a very short time. In our application we use the double buffering technique. It consists of using two buffers in order to achieve the processes of continuous capturing without loss of data.

While one buffer is capturing data, the other is making the processing task. This process is described in Fig. 4.



Figure 4. Capturing process protocol used

The algorithm implementation for computing the buffers management is shown in the Fig. 5.

### C. Spectrum estimation & Digital signal processing

The discrete-time signal  $X_N(1)$  is then converted from the time domain to the frequency domain though the calculation of the Discrete Fourier Transform DFT (2) [10-12]. We compute the DFT by the Fast Fourier Transform (FFT) algorithm [26-29].

$$X(m) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-2\pi j m n / N} \quad (2)$$

Where:

$X(m)$ : discrete Fourier Transform of  $x(n)$   
 $m$ : index DFT output at the frequency domain,  
 $m=0,1,2,\dots,N-1$   
 $x(n)$ : samples of time input waveform  $x(0), x(1), x(2), \dots, x(n)$   
 $n$ : index sample of the signal of time input  
 $N$ : total number of the input samples.



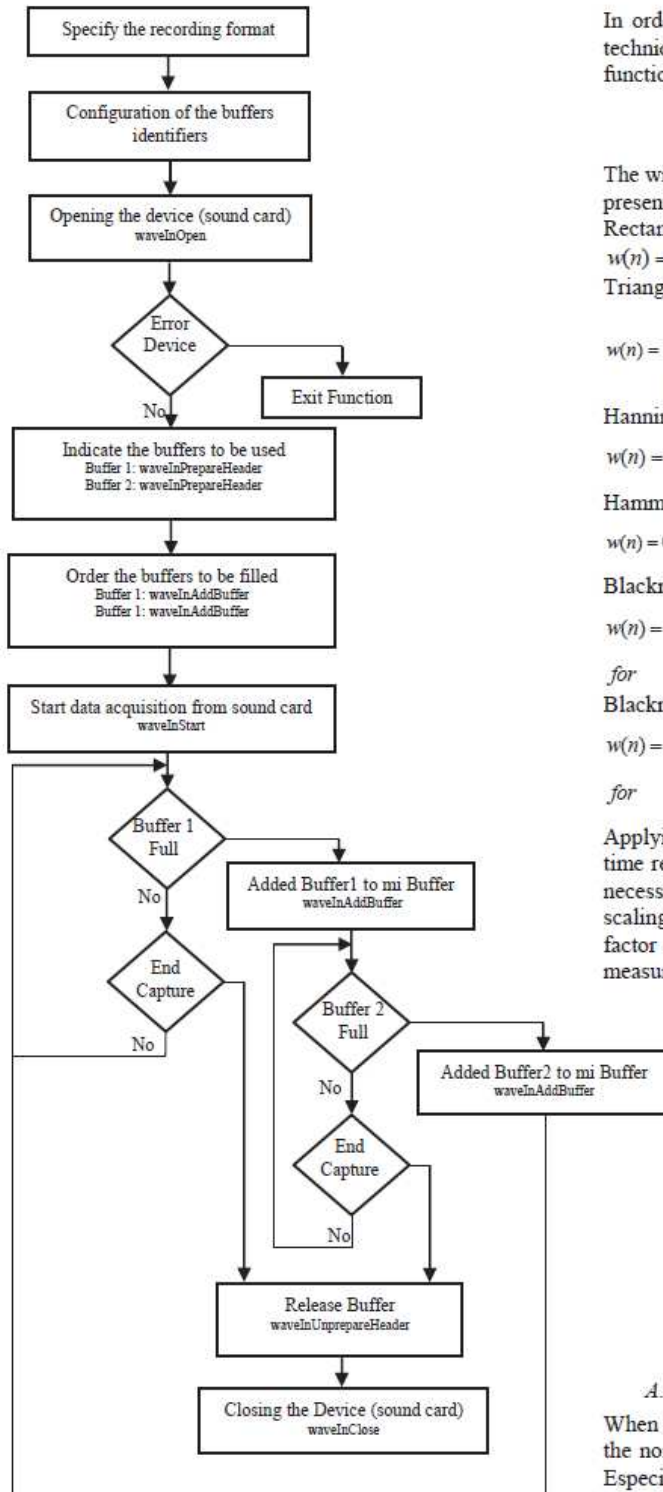


Figure 5. The buffers management algorithm flowchart

In order to reduce the leakage effect we use the windowing technique. The input sequence  $X_N(1)$  is multiplied by a function window  $w(n)$  (4-9) before the DFT is performed.

$$X_w(m) = \sum_{n=0}^{N-1} w(n) x(n) e^{-j2\pi mn/N} \quad (3)$$

The windows implemented in our measurement system are presented below.

Rectangular window:

$$w(n) = 1 \text{ for } n = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (4)$$

Triangular window:

$$w(n) = \begin{cases} \frac{n}{N/2} & \text{for } n = 0, 1, 2, \dots, N/2 \\ 2 - \frac{n}{N/2} & \text{for } n = N/2 + 1, N/2 + 2, \dots, N-1 \end{cases} \quad (5)$$

Hanning window:

$$w(n) = 0.5 - 0.5 \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) \text{ for } n = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (6)$$

Hamming window:

$$w(n) = 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) \text{ for } n = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (7)$$

Blackman window:

$$w(n) = 0.42 - 0.5 \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) + 0.08 \cos\left(\frac{4\pi n}{N}\right) \text{ for } n = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (8)$$

Blackman-Harris window:

$$w(n) = 0.36 - 0.49 \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) + 0.14 \cos\left(\frac{4\pi n}{N}\right) - 0.01 \cos\left(\frac{6\pi n}{N}\right) \text{ for } n = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (9)$$

Applying a window reduces the leakage effect, but at the same time reduces the magnitude of the output, for this reason, it is necessary to multiply the output magnitude DFT value by a scaling factor [30, 31]. Table II shows the different scaling factor values for the different windows used in our measurement system.

TABLE II  
DIFFERENT SCALING FACTOR  
FOR THE DIFFERENT WINDOW

Window	Scaling Factor
Rectangular	1
Hamming	0.54
Blackman	0.42
Blackman-Harris	0.42
Hanning	0.50

### III. EXPERIMENTAL RESULT

#### A. Reducing the effect of noise

When the level of the signal to be detected is nearly equal to the noise level, it is difficult to extract this signal from noise. Especially when using the receiver. In order to improve the accuracy and repeatability of measurements we give some recommendations for this purpose.

### A.1. Measurement in narrow band

Doing measurement in narrow band (NB) mode is one way of reducing the quantity of the background noise mixed with the signal (Fig. 6), so we can identify the signal of interest better when we choose a narrower filter.

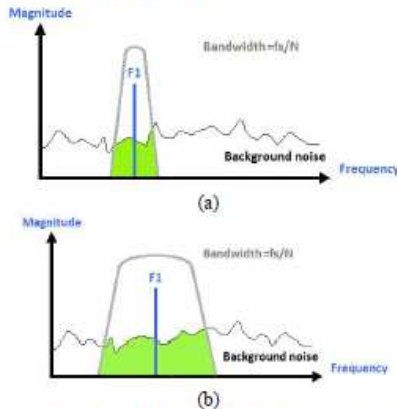


Figure 6. Quantity of noise included in (a) NB measurement (b) WB measurement

### A.2. Increasing the size of the number of points FFT

Increasing the size of the number of points FFT to be computed has the advantage of increasing the processing gain [11], which allows for the possibility of extracting signal that is inserted into noise.

The output signal-to-noise ratio (SNR) of the DFT increases when the number of points FFT computed increase. In [8] several examples were presented to show this effect. The FFT act like a digital filter, the higher the FFT size is, the lower is the background noise included; the narrower is the main lobe of the signal to be detected.

### A.3. Averaging

We give example of implementation of the technique of Exponentially Weighted Moving Average (EWMA) [32, 33] which is a statistical method to monitor the data averaging process, giving more weight to the latest data, but at the same time take into account the effect of the older data.

The EWMA is expressed in terms of the averaging calculated in the previous period using the following equation:

$$Y_N = \alpha \cdot SPCTURM\_FFT + (1 - \alpha) Y_{N-1} \quad (10)$$

$$Y_1 = SPCTURM\_FFT(1)$$

$$\text{For } N = 1, 2, \dots, N\_FFT$$

Where:

$Y_N$ : AVG computed

$Y_{N-1}$ : old AVG computed

$SPCTURM\_FFT$ : Actual spectrum signal computed.

$\alpha$ : Constant,  $0 < \alpha < 1$

Each calculation of the exponential moving average adds the effect of the latest data without ignoring the old one.

The equation (10) can be written in a different way (11) to emphasize that the exponential moving average tends to retain its previous values and only update by a fraction of its difference from the most recent data.

$$Y_N = Y_{N-1} + \alpha \cdot (SPCTURM\_FFT - Y_{N-1}) \quad (11)$$

$$Y_1 = SPCTURM\_FFT(1)$$

$$\text{For } N = 1, 2, \dots, N\_FFT$$

The EWMA initialization value can be  $Y_1 = \text{Spectrum\_FFT}(1)$ . It is possible also to choose other value like the  $\text{Spectrum\_FFT}(2)$  or  $\text{Spectrum\_FFT}(3)$ , etc. The effect of  $Y_1$  initialization in EWMA calculation will also depend on the constant  $\alpha$ . The more  $\alpha$  increases, the lower is the impact of the oldest capture.

### B. Method performance evaluation

Obtained specifications with the method described in this work are shown in Table III-VI.

As we can see in Table IV and Table V which represent the sensitivity of the IC-PCR1000 and the sound card respectively, with the sound card IEEE-32 bits configuration, and the IC-PCR1000 in SSB mode we obtain impressive sensitivity, which is one of the advantages of our method. Another advantage presented by our method is the possibility to measure narrow band signals (Table. III) This kind of measurement is very important in case of having signals very close and could be detected as a unique signal if the selectivity of the measurement instrument is not narrow enough (Fig. 7).

A Comparison between the minimum specifications for a precompliance spectrum analyzer [13] and the characteristics of our method is shown in Table VI. As we can see, the total specification for our system, present an excellent capabilities.

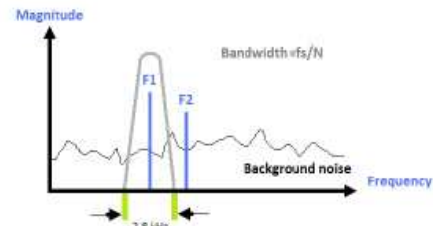


Figure 7. Narrow band measurement signals

TABLE III  
IC-PCR1000 FILTER BANDWIDTH

Modes of reception	Bandwidth
AM	15/6 kHz
SSB	2.8 kHz
CW	2.8 kHz
FM-Narrow	15/6 kHz
FM-Wide	230 kHz

TABLE IV  
IC-PCR1000 SENSITIVITY

Frequency (MHz)	SSB/CW 2.8kHz filter (10 dB S/N) dBμV	AM 6kHz filter (10 dB S/N) dBμV	FM 15kHz filter (12 dB SINAD) dBμV	WFM 230kHz filter (12 dB SINAD) dBμV
0.5 - 1.8	-5.04	7.96	--	--
1.8 - 28	-11.1	2.92	--	--
28 - 30	-11.1	2.92	-6.02	--
30 - 50	-9.12	5.11	-6.02	--
50 - 700	-14.0	0.00	-9.90	-2.05
700 - 1300	-12.0	2.28	-7.96	0.00



TABLE V  
SOUND CARD SENSITIVITY

Bit Number	Sensitivity	Sensitivity (dBμV)
8 bits	3.9215 mV	71.9 dBμV
16 bits	12.207μV	21.6 dBμV
24 bits	0.0596 μV	-24.5 dBμV
IEEE-32 bits	0.00023 μV	-72.65 dBμV

TABLE VI  
COMPARISON BETWEEN THE MINIMUM SPECIFICATIONS FOR A PRECOMPLIANCE SPECTRUM ANALYZER AND THE CHARACTERISTICS OF OUR METHOD

Parameter	Precompliance Specification	IC-PCR1000 Specification	Sound Card Specification	System Total Specification
Frequency range	100kHz - 1GHz	10 kHz to 1300 MHz	50 Hz to 20kHz	50 Hz to 1300 MHz
Resolution IF bandwidth	9 or 10kHz and 100 or 120kHz	2.8/6/15/50/230 kHz	1 Hz - 374 Hz by Sw	2.8/6/15/50/230 kHz by Hw 1 Hz - 374 Hz by Sw
Detector functions	Peak and average	-	-	Peak and average AVG EXP
Sensitivity	<20dBμV at 100kHz Bandwidth	<0dBμV at 230kHz Bandwidth <-5.04 dBμV at 2.8 kHz Bandwidth	-72,65 dBμV	-72,65 dBμV for frequency <20kHz
				<0dBμV at 230kHz Bandwidth
				<-5.04 dBμV at 2.8 kHz Bandwidth
Display	Free run and max-hold modes	Free run and max-hold modes	Free run and max-hold modes	Free run and max-hold modes
Input impedance	50 Ω	50 Ω	-	50 Ω

We have tested the Analog to Digital Converter (ADC) errors of the sound card, and have found a good linearity (Fig.8), an offset error which is corrected by software through an initial calibration before starting the measurement process.

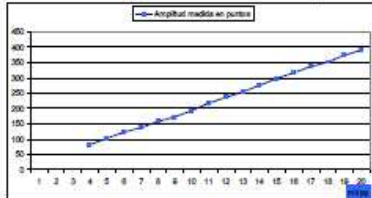


Figure 8. Linearity testing of the sound card  
For the frequency and amplitude calibration we used the Agilent 33250A waveform generator.

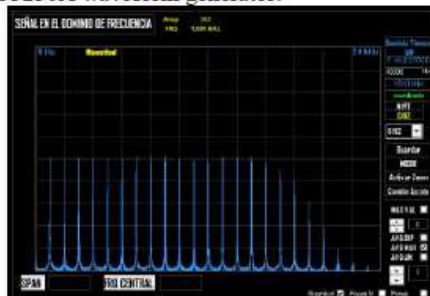


Figure 9. Frequency Calibration process

We give an example of signal detection and measurement by our method. We use a radio-telephone BAOFENG VHF/UHF in order to emit a VHF signal with frequency 144,010 MHz in FM-Narrow mode, with a low power. We tune the IC-PCR1000 receiver to the frequency 144,007 MHz; we use the LSB reception mode, with a filter BW 15 kHz. The parameters of the analysis used are: Sampling Frequency  $F_s=44,1\text{kHz}$ ,  $N_{\text{FFT}}=8192$ , Window: Hanning. The Fig.10 shows the spectrum of the frequency 144,007MHz when no emission was made from the BAOFENG VHF/UHF radio-telephone.

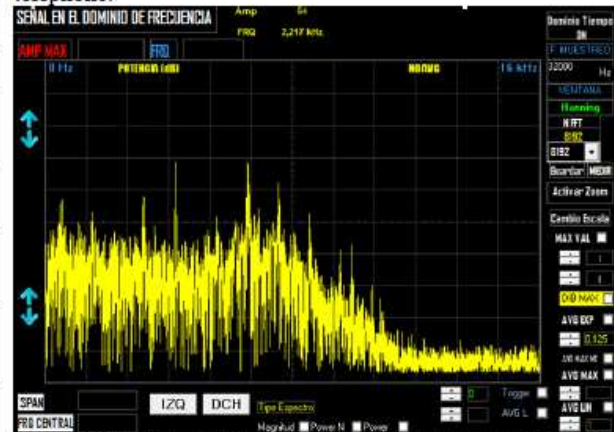


Figure 10. Spectrum of the frequency 144,007MHz when no emission from the BAOFENG VHF/UHF radio-telephone

The Fig.11 depicts the spectrum detected by our method measurement when an emission is sent from the BAOFENG VHF/UHF radio-telephone.

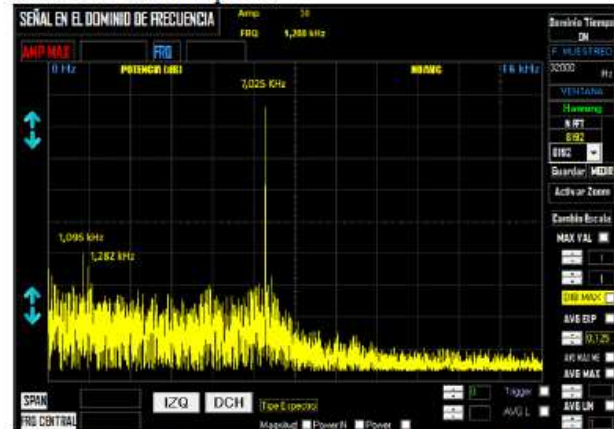


Figure 11. Spectrum detected when an emission is sent from the BAOFENG VHF/UHF radio-telephone

The next example (Fig.12) shows the measurement of a radiated known AM signal sent from the PCE-SDG1010 waveform generator. We use the AN200 E1-124819 Eton (520 kHz-1710 kHz) antenna for the emission of the signal 550 kHz modulated with 5 kHz.

To detect this signal we use the following parameters: Frequency reception 550 kHz, mode AM, BW 15 kHz,



Window Black-Harris, Sampling frequency 44100 Hz, N FFT= 2024.

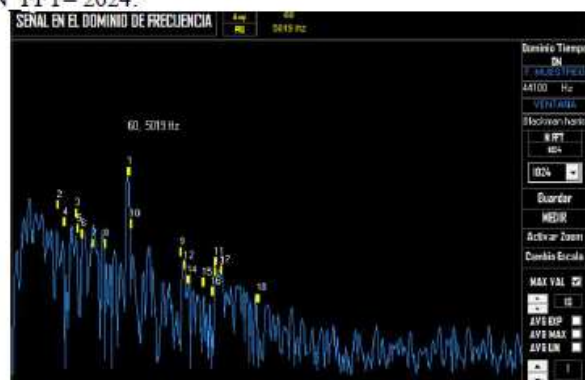


Figure 12. Measurement of a radiated AM signal

#### IV. CONCLUSION

In this paper, the design of simple low cost electromagnetic compatibility (EMC) measurement and verification system for ships was presented. We programmed all the algorithms for the systems, in order to have reliable software, known, expandable and intuitive, in combination with a VLF-UHF receiver. The method has a remarkable performance which is summarized in TABLE VI. Some measurements were conducted to illustrate method capabilities.

#### V. REFERENCES

- [1] L. Preston E., "Shipboard Electromagnetics" Artech House, Inc, 1987.
- [2] Bakkali, M.; Mascareñas, C. & All, "Feasibility study of advancing and sitting up Power Line Communication (PLC) system under Environment of Electromagnetic Compatibility (EMC) into the ships," Electrical Power Quality and Utilization, 2007. EPQU 2007. 9th International Conference on, vol., no., pp.1.5, 9-11 Oct. 2007.
- [3] G. D. LEES and W. G. WILLIAMSON, Handbook for Marine Radio Communication, LLOYD's Of London Press LTD, Great Britain, 1993.
- [4] C Mascareñas y Pérez-Iñigo, "Manual Básico de Sistemas de Comunicaciones Marítimas", Universidad de Cádiz.
- [5] Manual on the Global Maritime Distress and Safety System (GMDSS), International Maritime Organization (IMO), Switzerland, 2007.
- [6] Unión Internacional de Telecomunicaciones, "Manual para uso de los servicios móvil marítimo y móvil marítimo por satélite", Edición español 1999, Oficina de radiocomunicaciones.
- [7] M. Bakkali, C. Mascareñas-Pérez-Iñigo, and R. Carmona-Galan, "IC-PCR1000 Control Using a Wireless Sensor Network (WSN)", International Journal of Computer and Communication Engineering, Vol. 1, No. 3, September 2012
- [8] M. BAKKALI, C. MASCAREÑAS-PÉREZ-IÑIGO, "Real Time Digital Signal Analysis and Measurement", Proc. of the Intl. Conf. on Advances in Computing, Electronics and Communication-- ACEC 2013, institute of Research Engineers and Doctors.
- [9] Robinson, E.A., "A historical perspective of spectrum estimation," Proceedings of the IEEE, vol.70, no.9, pp. 885-907, Sept. 1982
- [10] A. Papoulis, "Signal Analysis" McGraw-Hill Book Company, New York, 1977, ISBN: 0-07-048460-0
- [11] Richard G. Lyons, Understanding Digital Signal Processing, Pearson Education, 2010, 0137028520
- [12] Robert A. Witte, Electronic Test Instruments. Theory and Applications, Hewlett-Packard, New Jersey, 1993
- [13] W. Ott Henry, Electromagnetic Compatibility Engineering, Sep 2009, ISBN: 978-0-470-18930-6
- [14] Emisiones Radioeléctricas: Normativa, Técnicas de Medida y Protocolos de Certificación, COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACION, Catedra coit (etsit-Upm)
- [15] Xiaoli Quan; Nanquan Zhou; Haotian Wu, "Design of sound card electrocardiosignal acquisition system based on LabVIEW," Multimedia Technology (ICMT), 2011 International Conference on pp.282,285, 26-28 July 2011
- [16] Zixin Zhao; Shuxiang Guo, "Development of an acoustic communication system for multiuser based on sound card," Complex Medical Engineering (CME), 2011 IEEE/ICME International Conference on pp.264,267, 22-25 May 2011
- [17] Gunawan, T.S.; Khalifa, O.O., "PC sound card based instrumentation and control," Computer and Communication Engineering (ICCCE), 2010 International Conference on, vol., no., pp.1.4, 11-12 May 2010.
- [18] Zhao Xian-ling, "The Virtual Instrument Based on Labview and Sound Card," Computational Aspects of Social Networks (CASoN), 2010 International Conference on, vol., no., pp.743,745, 26-28 Sept. 2010.
- [19] Xu Xin-sheng; and All, "Study on precise frequency measurement based on sound card," Electronic Measurement & Instruments, 2009. ICEMI '09. 9th International Conference on, vol., no., pp.2-455,2-458, 16-19 Aug. 2009
- [20] Aiju Chen; Jingjing Liu, "A Kind of Virtual Oscilloscope Used in Experiment Teaching Based on Sound Card and LabVIEW," Education Technology and Training, 2009. ETT '09. Second International Conference on, vol., no., pp.118,121, 13-14 Dec. 2009
- [21] Neitzert, H.C.; Rainone, N.G., "Photocurrent and electroluminescence mapping system for optoelectronic device characterization using a PC sound card for data acquisition," Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings, 2007. IMTC 2007. IEEE, vol., no., pp.1.6, 1-3 May 2007.
- [22] Aerospace & Defense Symposium 2012, Agilent Technologies, 31/05/2012, Madrid, Spain
- [23] J. Balcello, F. Daura, R. Esparza, R. Pallás, Interferencias Electromagnéticas en sistemas electrónicos, ISBN 84-267-0841-2
- [24] Preston E. LAW JR., "Shipboard Antennas", 2nd edition ISBN: 0-89006-211-0, Artech house inc. 1986
- [25] S.W. Smith; The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing, California Technical Publishing, 1997, ISBN 0966017633
- [26] J.W. Cooley and J.W. Tukey, "An algorithm for the machine calculation of complex Fourier Series," Mathematics Computation, Vol. 19, 1965, pp 297-301
- [27] HV Sorensen and all, Real Valued Fast Fourier Transform Algorithms, IEEE Transactions on acoustics, speech, and signal processing, VOL. ASSP-35, NO. 6, June 1987
- [28] J. A GLASSMAN, "A generalization of the fast Fourier transform" IEEE Transactions on computers, VOL. C19, NO. 2, February 1970
- [29] GD Bergland, "A guided tour of the fast Fourier transforms," IEEE Spectrum, vol. 6, pp. 41-52, July 1969
- [30] Harris, F.J., "On the use of windows for harmonic analysis with the discrete Fourier transform," Proceedings of the IEEE, vol.66, no.1, pp.51,83, Jan. 1978
- [31] Solomon, O., Jr., "The use of DFT windows in signal-to-noise ratio and harmonic distortion computations," Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on, vol.43, no.2, pp.194,199, Apr 1994
- [32] Roberts, S.W. (1959) "Control Chart Tests Based on Geometric Moving Averages", Technometrics, 1, 239-250
- [33] Lucas, J. M. and Saccucci, M. S. (1990). "Exponentially weighted moving average control schemes: Properties and enhancements", Technometrics 32, 1-29.



# CERTIFICATE

*of participation  
in the International Conference on Information and Digital Technologies 2015  
held on 7 - 9 July 2015 in Zilina, Slovakia  
and presentation of paper entitled*

**Real Time Digital Signal Processing and Measurement Method  
for Electromagnetic Compatibility Verification into the Ships**

IEEE Reliability Society



**Mohammed Bakkali**

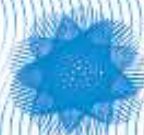
*author*

*E. Zio*

**Prof. Enrico Zio**  
*chair IDT 2015*

*E. Zaitseva*

**Asoc. prof. Elena Zaitseva**  
*co-chair IDT 2015*





# REAL TIME DIGITAL SIGNAL ANALYSIS AND MEASUREMENT

M. BAKKALI, C. MASCAREÑAS-PEREZ-IÑIGO

**Abstract**—We present in this paper a powerful low-cost method for real-time digital signal analysis and measurement based Discrete Fourier Transform. This measurement system needs understanding the mathematical background and the computational implementation, using the adequate cables, connectors, as well as having knowledge and experience for interpreting the results obtained. This paper tries to understand the fundamental concepts in DFT-based measurements, providing a better comprehension of the measured parameters, procedures, and interpreting the resulting data.

We attempt to make this paper summarized as much as possible; at the same time, to treat the most important aspects showing the different stages implemented into the system developed.

**Keywords**— Signal Analysis, Signal Measurement, DFT, FFT, Leakage, Window, Averaging.

## I. Introduction

The system measurement that we present in this paper (figure 1) is a computer-based measurement that takes a continuous signal at its input, and samples it into a sequence of a discrete data  $x(n)$ . This periodic sampling is achieved using the PC sound card. The discrete-time signal is then converted from the time domain to the frequency domain through the calculation of the Discrete Fourier Transform DFT [1-3] to estimate the spectrum [4]. We use the Fast Fourier Transform FFT algorithm [5-8] for the DFT implementation. Windowing is a technique used to reduce the leakage effect. With the presence of the background noise, it is difficult to detect the signal of interest; for this reason, we use some averaging techniques in order to reduce the background noise and extract a signal from the noise. We close with a summary of the measurement parameters showing its effect on the analysis procedure. Here, we describe the different stages of the system developed.

We use the term main lobe to refer to the energy of the principal frequency component of the input signal.

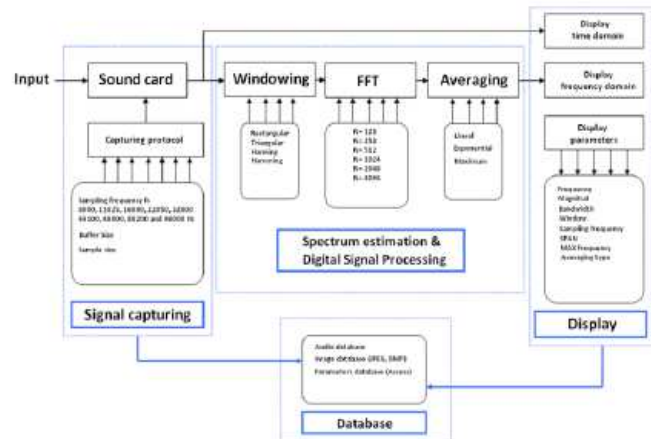


Figure1. System measurement Bloc diagram

## II. Sampling

In the input we have the signal to be analyzed which is an analog signal. The first stage is the periodic sampling which takes in its input, the analog signal, and gives us in its output, a sequence of discrete data values.

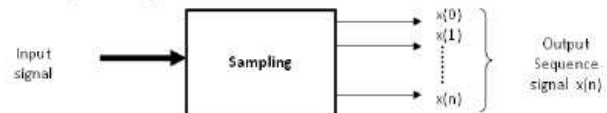


Figure 2. Sampling stage

The sequence of samples is an approximation that represents the original input signal in the digital domain, and must respect the condition imposed by the Nyquist's theorem: the sampling rate must be greater than twice the highest frequency component of the signal to be sampled. For example if we want to analyze an input signal containing various frequency components whose maximum value is 100 kHz, then the sampling frequency  $f_s$  must be as minimum 200 kHz. If this condition is not respected a phenomena known as aliasing occurs [1,2]. The frequency components that are above the Nyquist frequency are undersampled, and appear as lower frequency components. For this reason, in the practice, an analogue filter is used at the end of the sampling stage, in order to attenuate all unwanted frequency components above our analysis range. This filter is named anti-aliasing filter.

M. Bakkali is with Departamento Control y Comunicaciones, División Air Thermodynamics, CIAT, Cordoba, Spain.  
 medcasem@hotmail.com – mbakkali@grupociat.es

C. Mascareñas-Perez-Iñigo is with Departamento de CC y TT de Navegación y Teoría de la Señal y Comunicación, Cadix University, Cadix, Spain.  
 carlos.mascarenas@uca.es



### III. Signal Capturing

Several implementations can be used to capture the waveform using a data acquisition device. Nowadays, advanced techniques known as "simultaneous multi-buffer acquisition and readout (SAR) mode [9]" is used to improve the precision of the capturing method with no information lose, specially used in the case of measuring pulse that can appear in a very short time. In our application we use the double buffering technique. It consists of using two buffers in order to achieve the processes of continuous capturing without loss of data. While one buffer is capturing data, the other is making the processing task. The figure 3 describes this process.

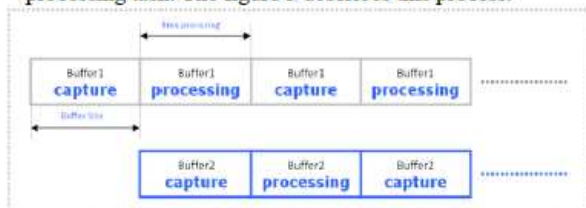


Figure3. Capturing process protocol used

Time processing stage will include DFT calculating (FFT algorithm), windowing, plotting, and averaging. This time must be inferior to the time that takes the buffer to capture the samples. If this condition is not respected, we lose information's when the device is waiting for a new buffer, and if some signal appears at that moment our analysis method will not be able to detect this signal. To overcome this problem, a possible solution is to use more buffers if the system implementation allows it, or reduce some operations from the processing stage.

The size of the buffer must be an integral multiple of the every sample size (for example if we work with 16 bits each sample size, we can take a buffer as  $N\_DFT * 2 * 16$  bits).

### IV. Discrete Fourier Transform

After the stage of the sampling, the next step is to convert the signal from the time domain to the frequency domain. This is achieved by the Discrete Fourier Transform DFT which is a mathematical calculation used to detect the frequency components and the energy presented at this input signal component. A different method can be used to estimate the spectrum [4], and the most famous algorithm for the DFT calculation is the Fast Fourier Transform known as FFT.

we take a  $N\_DFT$  sample to achieve the DFT calculated by applying the FFT algorithm. The input is a sequence  $x(n)$

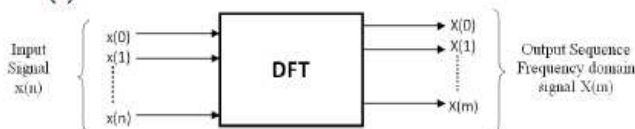


Figure 4. DFT stage calculation

As we are taking a finite number of points every time, this situation is similar to multiplying the sampled input sequence by a rectangular window of value 1 as shown in the figure 5.

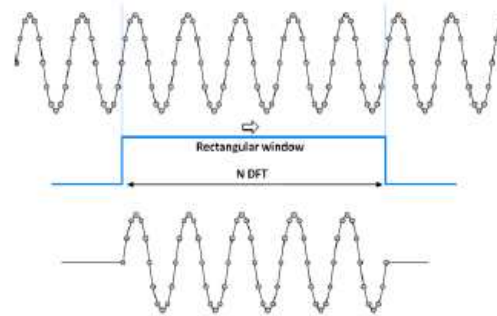


Figure 5. representation of the rectangular windowing effect  
 The figure 5 is only a representation that seems to be as a perfect situation, because the size of the DFT was chosen to fit exactly an integer number of cycles (in this example 5 cycles). This situation is difficult to occur in the real time signal acquisition. (For example if we want to measure a 1.6 kHz sine-wave taking 512 sample at a rate of 8 kHz per second, we may have to treat 102.4 cycles every time loop). The figure 6 represents an approximation of what we are taking in the real situation.

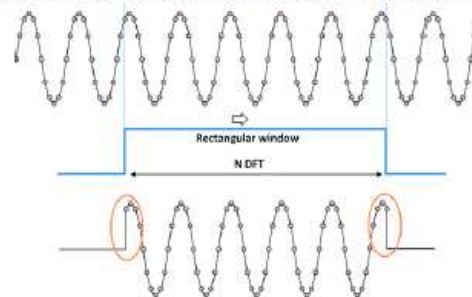


Figure 6. representation of the rectangular windowing leakage effect  
 In addition to the case of non-integer cycle mentioned above, we have discontinuity at the beginning and at the end of the rectangular window. These two factors may cause the Leakage [1,2].

### V. Windowing

In order to reduce the leakage effect we use the windowing technique. The input sequence  $x(n)$  is multiplied by a function window  $w(n)$  before the DFT is performed.

$$X_w(m) = \sum_{n=0}^{N-1} w(n) \cdot x(n) e^{-j2\pi mn/N}$$

**Rectangular window**

$$w(n) = 1 \text{ for } n = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

**Triangular window**

$$w = \begin{cases} \frac{n}{N/2} & \text{for } n = 0, 1, 2, \dots, N/2 \\ 2 - \frac{n}{N/2} & \text{for } n = N/2 + 1, N/2 + 2, \dots, N-1 \end{cases}$$

**Hanning window**

$$w(n) = 0.5 - 0.5 \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) \text{ for } n = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

**Hamming window**

$$w(n) = 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) \text{ for } n = 0, 1, 2, \dots, N-1$$



#### Blackman window

$$w(n) = 0.42 - 0.5 \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) + 0.08 \cos\left(\frac{4\pi n}{N}\right)$$

for  $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$

#### Blackman-Harris window

$$w(n) = 0.36 - 0.49 \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) + 0.14 \cos\left(\frac{4\pi n}{N}\right) - 0.01 \cos\left(\frac{6\pi n}{N}\right)$$

for  $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$

We put an example measuring the leakage effect by using a 13 kHz sine wave signal modulated with 9MHz AM. The figure 7a shows the signal obtained in the frequency domain with no window applied (rectangular window), while the figure 7b shows how the window, in this case a Hanning window, reduce the effect of leakage.



Figure 7a. illustration of the leakage effect in real time signal analysis



Figure 7b. illustration of the leakage effect in real time signal analysis  
 Applying a Window reduce the leakage effect, but at the same time reduce the magnitude of the output, for this reason, it is necessary to multiply the output magnitude DFT value by a *scaling factor* [10]. Table 1 shows the different scaling factor for the different window used in our measurement system.

TABLE 1: DIFFERENT SCALING FACTOR FOR THE DIFFERENT WINDOW

Window	Scaling Factor
Rectangular	1
Hamming	0.54
Blackman	0.42
Blackman-Harris	0.42
Hanning	0.50

Notice that the main lobe in the case of rectangular window is narrower; this is due to the effect of the window on increasing the effective bandwidth by a factor known as the *equivalent noise power bandwidth of the window* [10].

## VI. The Parameters Used For The Analysis

Let's see the most important parameter to manipulate when we are dealing with the signal analysis. It is important to keep in mind that we take N sample points to produce N/2 useful frequency point (DFT symmetry propriety), the highest frequency of the analysis depends on the sampling rate  $f_{\max} = f/2$ . The anti-aliasing filter will cut off all frequency components higher than a specific value which depends on the filter frequency ( $f_c$ ). The lowest frequency will depend to the minimal time to perform one DFT cycle.

The parameters that we can modify in our system measurement are:

- The frequency of the data sampling ( $f_s$ )
- Number of points used, or the DFT size ( $N_{\text{DFT}}$ )
- Type of the window used
- Additional DSP techniques (Averaging, Zero padding, filters, etc.)

The frequency analysis is defined by the following equation:

$$f_{\text{analysis}}(m) = \frac{m f_s}{N}$$

It is possible to see the DFT stage as a kind of band pass filter, whose central frequency is the frequency analysis, whose bandwidth and gain can be modified. The following figure shows the DFT model like a system input  $x(n)$ , which is a data sequence coming from the sampling stage, and the outputs as sequence of  $X(m)$  being the calculation result of the DFT. We put in the figure the  $N_{\text{DFT}}$ , and window as the parameter used to adjust the bandwidth and gain

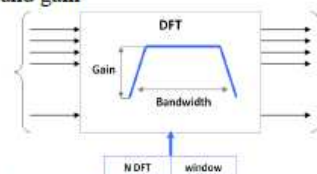


Figure 8. Bandpass DFT model at a given frequency component  
 The DFT result will produce results at all the frequency analysis indicating which amplitude exists in  $x(n)$  at the frequency analysis calculated at a given point  $m$ . The figure 9 is a model for the whole DFT calculating.

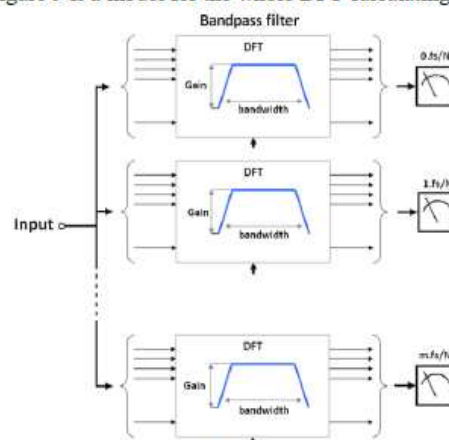


Figure 9. Bandpass DFT model



Every time we increase the  $N_{DFT}$ , we have a narrower bandwidth, which gives us the advantage of increasing the possibility of detection and separation energies; because as  $N_{DFT}$  is higher, the frequency resolution is better. Besides this advantage, the amount of the background noise is less present in the measurement. The figure 10 shows the example of this situation.

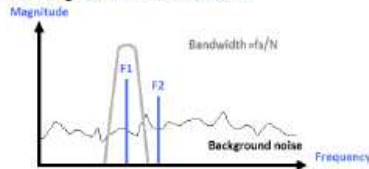


Figure 10. Narrow system measurement

Increasing the  $N_{DFT}$  has the inconvenient of increasing the processing time. Using less point  $N_{DFT}$  will reduce the resolution, and increase the bandwidth of the bandpass filter model. This situation is represented by the figure 11.

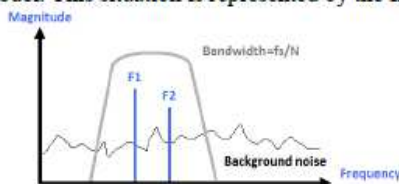


Figure 11. Wideband system measurement

In this situation we can't distinguish between signals F1 and signal F2, furthermore, the measurements will include more quantity of background noise

Let see an example to illustrate what we explained above. In the figure 12, we measure a 300Hz sinewave modulated en AM with 8 kHz, sampled at 48 kHz. We use a Hamming window.

In the case of figure 12a we take 256  $N_{DFT}$  points and we represent the 128 first points, while the figure 12b, is a zoom representation. Notice that this measurement gives us information that we have at the input a signal of frequency 8.013 kHz.



Figure 12a. 256  $N_{DFT}$  point 300Hz sinewave modulated en AM with 8 kHz, sampled at 48 kHz

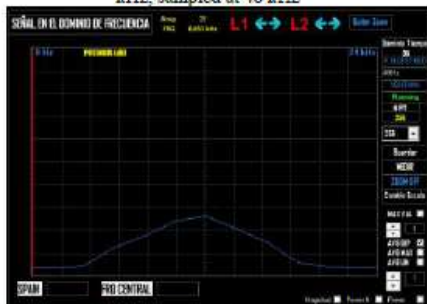


Figure 12b. 256  $N_{DFT}$  point 300Hz sinewave modulated en AM with 8 kHz, sampled at 48 kHz

In figure 13a, we increase the number of points taken from 256 to 512. Then in figure 13b, we see that the main lobe form has changed, but it is difficult to decide if this situation is due to the apparition of noise or the presence of other frequency components near to the main lobe.



Figure 13a. 512  $N_{DFT}$  point 300Hz sinewave modulated en AM with 8 kHz, sampled at 48 kHz



Figure 13b. 512  $N_{DFT}$  point 300Hz sinewave modulated en AM with 8 kHz, sampled at 48 kHz

The figure 14 represents the case of taking 1024 DFT point. Now we can see that this signal contains more than one frequency component.



Figure 14a. 1024  $N_{DFT}$  point 300Hz sinewave modulated en AM with 8 kHz, sampled at 48 kHz

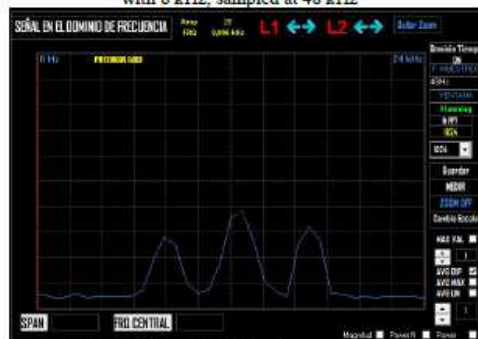


Figure 14b. 1024  $N_{DFT}$  point 300Hz sinewave modulated en AM with 8 kHz, sampled at 48 kHz

Increasing the size of the DFT to 4096 points, we get the signal represented in the figure 15. We can now see with precision that we obtain a main lobe centered to the

frequency 8kHz with two sidebands, the right one with 8.3 kHz and the left one with 7.7 kHz

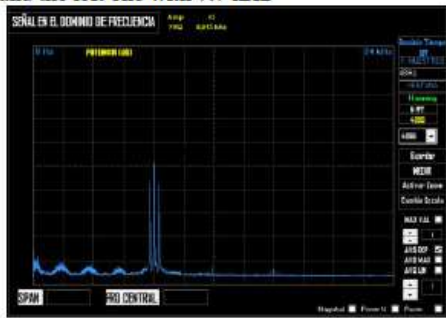


Figure 15a. 1024 N\_DFT point 300Hz sinewave modulated in AM with 8 kHz, sampled at 48 kHz

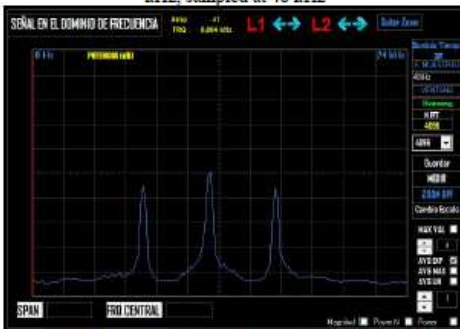


Figure 15b. 4096 N\_DFT point 300Hz sinewave modulated in AM with 8 kHz, sampled at 48 kHz

Increasing the size of the DFT has the advantage of having more processing gain [2]. This involves the possibility of extracting signal that is tucked into noise. The output SNR of the DFT increases when the size N\_DFT increases.

We demonstrate this by the following measurements made with our system measurement. The figure 16 is a 6 kHz sine-wave signal received through a wideband receiver. We plot the 128 outputs of a 256-point DFT. It is very difficult to detect the input signal of 6 kHz. If we change the size of DFT to 512 points, we can now see the presence of the input signal. Increasing the N\_DFT to 1024 and 2048, we obtain the results shown in figure 16c, and 16d. As we can notice, the amplitude of the resulting frequency component increases as the number of points N\_DFT increases. Also we see that the main lobe is narrower.

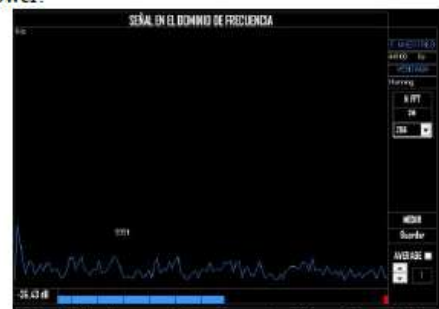


Figure 16a. 6 kHz sine-wave signal received through a wideband receiver

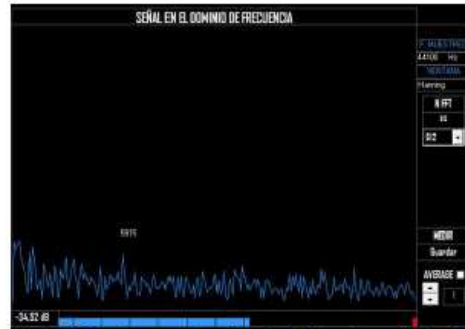


Figure 16b. 6 kHz sine-wave signal received through a wideband receiver

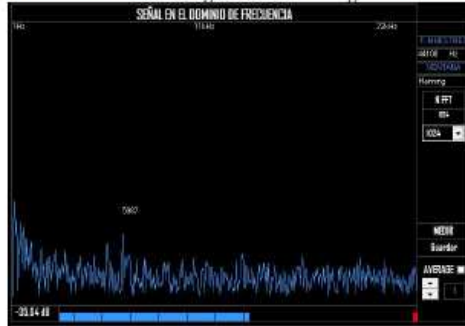


Figure 16c. 6 kHz sine-wave signal received through a wideband receiver

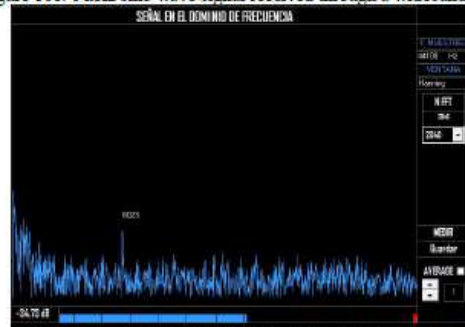


Figure 16d. 6 kHz sine-wave signal received through a wideband receiver

The signal-to-noise ratio (SNR) is defined [1,2] as the DFT's output signal-power level over the average output noise-power level. The figure 16 shows also that the SNR increases when the DFT size increases.

The leakage has also the effect of increasing the effective background noise and reduces the DFT's output SNR.

## VII. Averaging

The averaging technique improves the accuracy and repeatability of measurements, especially with the presence of noise. When the level of the signal of interest is nearly equal to the noise level, it is difficult to extract this signal from noise. We implemented the averaging technique in order to overcome this trouble. The figure 17 shows the averaging techniques implemented into the system measurement presented in this paper.

### Lineal Averaging

$$FFT_t(I) = (FFT(I) + FFT_{t-1}(I))/n$$

### Exponential Averaging

$$FFT_t(I) = FFT(I) \cdot 1/N + FFT_{t-1}(I) \cdot (N-1)/N$$

### Maximum Averaging

$$\text{If } FFT(I) > FFT_{t-1}(I) \text{ then } FFT_t(I) = FFT(I)$$



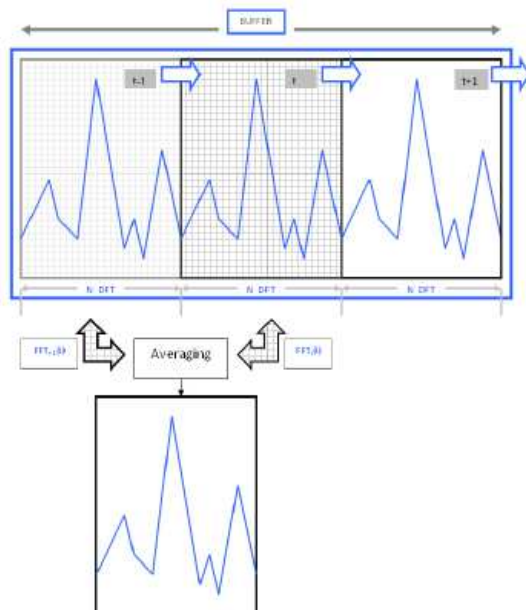


Figure 17. Averaging techniques implemented

We put an example of the results obtained when applying the averaging on a signal received with a wideband received with the presence of noise. This example measures a 13 kHz signal, modulated AM with 1MHz carrier. We take 1024 DFT points; we use a Hanning window, and a frequency sampling of 44.1 kHz. The figure 18 shows the result obtained. We see in the figure 18a that is not possible to identify the signal received because we have a higher level of background noise.

When applying the average type “maximum”, we obtain the result shown in the figure 18b. Notice that the peak appears now clearly at 13 kHz.

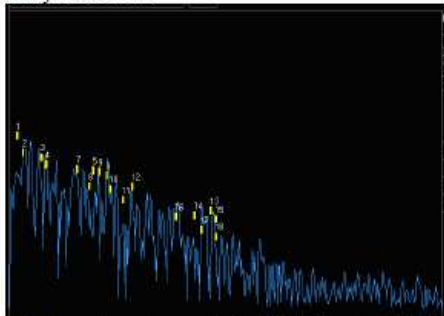


Figure 18a. Example measurement of a 13 kHz signal, modulated AM with 1MHz carrier

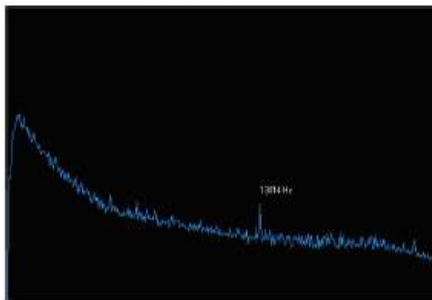


Figure 18b. Example measurement of a 13 kHz signal, modulated AM with 1MHz carrier

## VIII. Conclusion

The demonstration measurement in this paper is made using the PC sound card as a tool of data acquisition. This solution presents the limitation of the sampling rate which is limited to 96 kHz, and the ant-aliasing filter which cut off signal up to 22 kHz.

We have presented the more relevant parameter to be manipulated in order to analyze and measure signals. Changing one parameter affects all the other parameter. Depending on the application, accordingly, we can decide to manipulate the adequate parameter.

We see that the size of the DFT is an important parameter which affects the improvement of the SNR, resolution, magnitude, but there are always tradeoffs between this improvement and the processing time that take the method to calculate the DFT.

## References

- [1] A. Papoulis, “Signal Analysis” McGraw-Hill Book Company, New York, 1977, ISBN. 0-07-048460-0
- [2] Richard G. Lyons, Understanding Digital Signal Processing, Pearson Education, 2010, ISBN 0137028520, 9780137028528, 944 páginas
- [3] S.W. Smith; The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing, California Technical Publishing, 1997, ISBN 0966017633
- [4] Robinson, E.A., "A historical perspective of spectrum estimation," Proceedings of the IEEE , Vol. 70, no. 9, pp. 885-907, Sept. 1982
- [5] J.W. Cooley and J.W. Tukey, "An algorithm for the machine calculation of complex Fourier Series," Mathematics Computation, Vol. 19, 1965, pp 297-301
- [6] HV Sorensen and all, Real Valued Fast Fourier Transform Algorithms, IEEE Transactions on acoustics, speech, and signal processing, VOL. ASSP-35, NO. 6, June 1987
- [7] J. A GLASSMAN, "A generalization of the fast Fourier transform" IEEE Transactions on computers, VOL. C19, NO. 2, February 1970
- [8] GD Bergland, "A guided tour of the fast Fourier transforms," IEEE Spectrum, vol. 6, pp. 41-52, July 1969
- [9] Aerospace & Defense Symposium 2012, Agilent Technologies, 31/05/2012, Madrid, Spain
- [10] Michael Cerna and Audrey F. Harvey, The Fundamentals of FFT-Based Signal Analysis and Measurement, National Instruments, application note 041, July 2000
- [11] Robert A. Witte, Electronic Test Instruments. Theory and Applications, Hewlett-Packard, New Jersey, 1993.
- [12] M. Bakkali, C. Mascareñas, & ALL, Feasibility Study of Advancing and Setting up Power Line Communication (PLC) System under Circumstances of Electromagnetic Compatibility (EMC) on the Ships, 9th International Conference, Electrical Power Quality and Utilization, 9-11 de octubre de 2007, Barcelona, (Spain)

Mohammed Bakkali is a Telecommunications Engineer. He received a IEEE M.Sc from the Abdelmalek-Essaâdi University in Tangier, Morocco. He received the Diploma of Advanced Studies (DEA) in Maritime Radiocommunications from the Cadix University (Spain). Is currently doing the position “Control & Communication Engineer” with CIAT and doing his research (PhD) under the guidance of Prof. Dr Carlos Mascareñas y Perez Iñigo, Cadix University.



Carlos Mascareñas y Perez Iñigo is Assistant Professor at the Radioelectronic Engineering School of the Cadix University (Spain). He is 1st Class ITU Radioelectronic Officer Certificated and also he is the leader of the Research groupe “Signals, Systems and Naval Communications” (<http://marconi.uca.es>). His scientific interests include Radiocommunications, Radiopropagation, Electromagnetic Compatibility, Maritime Safety and Protection.





**INTERNATIONAL CONFERENCE** on  
Advances In Computing, Electronics and Communication

**ACEC'13**

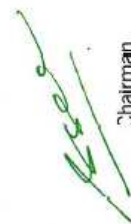
12-13 October, 2013

*Certificate*

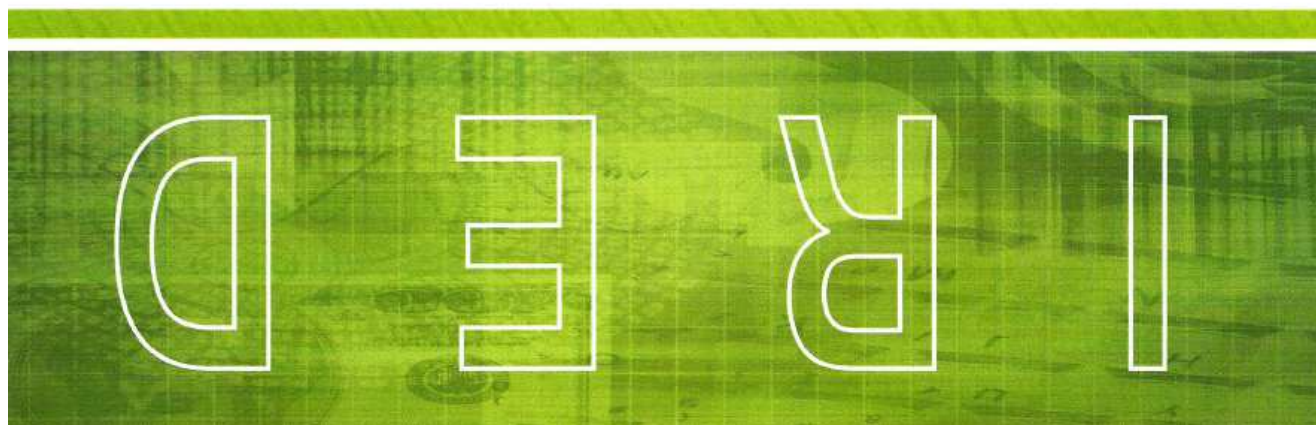
This is to certify that Dr./Mr./Ms. **MOHAMMED BAKKALI** from **SPAIN** has presented a paper titled as "REAL TIME DIGITAL SIGNAL ANALYSIS AND MEASUREMENT" in the International Conference on "ADVANCES IN COMPUTING, ELECTRONICS AND COMMUNICATION" Organized by LONDON RESEARCH PRESS IN ASSOCIATION WITH INSTITUTE OF RESEARCH ENGINEERS AND DOCTORS at ZURICH, SWITZERLAND.



Organizing Secretary



Chairman





ISSN 2010-3743



**International Journal of Computer and Communication Engineering**

Vol. 1, No. 3, September 2012

[www.ijcce.org](http://www.ijcce.org)



**IACSIT**

International Association of  
Computer Science and Information Technology

**IACSIT Publishing**



# IC-PCR1000 Control Using a Wireless Sensor Network (WSN)

M. Bakkali, C. Mascareñas-Perez-Iñigo, and R. Carmona-Galan

**Abstract**—We put forward in this paper a new method based on a Wireless Sensor Network from Crossbow technology for the IC-PCR1000 control and communication to lessen the impact of the unwanted EMI. This method is a new method that allows working in the band LF/LW/MW/FM without the EMI emitted by the power supply of the PC and IC-PCR1000

**Index Terms**—Wireless Sensor Network (WSN), IC-PCR1000, Electromagnetic Interference (EMI)

## I. INTRODUCTION

The electrical wires can transport electromagnetic signals interferences [1] and play the role of an Electromagnetic Interference (henceforth EMI) antenna [2]. The PC power supply is an important source of EMI, and its internals/externals wires have a function of such EMI antennas. Among them, those coming out of communication port and the sound card.

The IC-PCR1000 is a wideband radio receiver that is controlled by means of the serial port [3]. It is intended to receive command from the PC RS232 serial port. The effect of EMI stated above bars the reception in some frequency mode [4], when using the IC-PCR1000 connected to the PC [5]. For example, Low Frequency or LF (signals that range from 30 kHz to 300 kHz), Long Wave or LW (signals that range from 150 kHz to 280 kHz), and Medium Wave or MW (signals that range from 530 kHz to 1620 kHz).

We put forward in this paper a new method for the IC-PCR1000 control and communication without connecting them to the PC to lessen the impact of the unwanted EMI. In addition to this significance, the system achieved allows some advantages like:

1) Avoiding electromagnetic radiation hazards: IC-PCR1000 can be used to take measurement of the signal strength by using the available S-meter function. This can be done in the case of having equipment that has electromagnetic radiation hazards such as radar.

2) Remote control :

- The relevant information in terms of signal measured (level, time, mode, frequency, etc.) are sent from the IC-PCR1000 to a remote PC through the Wireless Sensor Network (WSN).

- The IC-PCR1000 can receive command from a remote PC like setting the frequency, mode, bandwidth filter, volume, squelch, etc.

3) Measurement process Monitoring: When detecting some signal of importance or high concentration, the motes send a message by the air to the base station. This message can be configured to activate an alarm, send an email and/or display data on the PC-base station screen. Additionally, data is saved into a data base which keeps saved all the information about the reception during all the period of scanning for their further processing.



Fig. 1. Example of measurement process made by the research group "naval communications systems and signals"

The method presented in this paper to control the IC-PCR1000 is based on a Wireless Sensor Network from Crossbow technology [6] designed for the development of an infrastructure meant for the control and communication of the different system we are using. These motes, which are autonomous, small, robust and versatile systems, are linked to the IC-PCR1000 constituting a powerful and clean-method for the control and communication with IC-PCR1000.

In order to establish the necessary interconnection between the radio subsystem and the wireless communications link, we have tested the different ports available at each device [7].

Communication between the different elements of the system is supported by the available UARTs and GPIOs.

## II. ICOM-PCR1000

The IC-PCR-1000 is a wideband radio receiver that is controlled via the PC serial port. It has a wideband coverage from 100 kHz to 1.3 GHz and can operate at CW, LSB, USB, AM, FM and WFM mode. The filter bandwidth can be specified for each mode as follows: FM=6/15/50kHz, AM=3/6/15/50kHz, WFM=50/230 kHz, SSB=3/6 kHz and CW=3/6 kHz.



Fig. 2. IC-PCR1000 receiver

M. Bakkali is with Departamento Control y Comunicaciones, División Air Thermodynamics, CIAT. medcasem@hotmail.com - mbakkali@grupociat.es

C. Mascareñas-Perez-Iñigo is with Departamento de CC y TT de la Navegación y Teoría de Señal y Comunicación, Universidad de Cádiz.

R. Carmona-Galan is with Instituto de Microelectrónica de Sevilla, IMSE-CSIC, Sevilla.



The receiver offer 21 choices for the steep size ranging from 1Hz to 1MHz, and have the different following function:

- 1) The IF shift function is used for SSB and CW mode tuning. The purpose is to modify the pass band with which signals are received. If two signals are quite close and interfering with each other due to limitation in term of narrow band, the IF shift is used to move the pass band away from the offending signal. This helps to reduce or remove the interference. The range for the IF shift is  $\pm 1.2\text{kHz}$ .
- 2) The AFC function (Automatic Frequency Control) is used to correct signal drift when listening to FM signals. It must be used with a filter of 15 kHz or less to allow a tracking of the core frequency using 100 Hz steep.
- 3) The tone squelch function is an FM feature that allows the selection of one of the fifty one tones between 67, 0 and 254, 1 Hz.
- 4) The AGC (Automatic Gain Control) function is used with the CW, SSB and AM modes to set the unstable audio levels due to changes in signal strength.
- 5) The NB (Noise Blanker) function is used to eliminate pulse-type noise from SSB, CW and AM signals.
- 6) The VSC (Voice Scan Control) function is used to help skip over uncontrolled carriers as well as birdie-type frequencies.

### III. WIRELESS COMMUNICATION SUPPORT

The communication used between the different systems is supported by an IRIS XM2110 mote [6, 7]. This mote features 250Kbp data rate, and outdoor line-of-sight ranges as far as 500m between nodes without amplification. The selection of a commercial platform is mainly based on the availability, together with a matured and tested hardware of a wide set of software tools. To be precise, an operating system, a programming language and compiler [8] for the mote microprocessor (Atmega1281), a software environment for mote programming and network monitoring and application development (Mote Works).

#### A. Mote-PCR1000 Communication

The most direct way to communicate the IC-PCR1000 with the mote is using the available UARTs. Several adjustments are required. First, the serial port of the XM2110 mote operates by default at a higher baud rate than the IC-PCR1000; consequently, data that interchanges between them is initially disabled. This can be overcome by changing the mote baud rate at the software level.

Another difficulty found is in the voltage levels representing the different logic states. An adapter chip is employed for this (MAX3222).

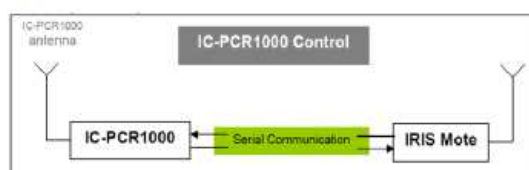


Fig. 3. IC-PCR1000 Control

This node has the following functions:

- 1) Generates a repetitive sequence of command to be sent to the IC-PCR1000
- 2) Sends the data over the UART port at every time fired (we use 1000 ms) to node 2
- 3) Constructs the packet filling up the message buffer with data received from IC-PCR1000 UART.
- 4) Specifies target
- 5) Broadcasts the message over the air

The next diagram shows the connection for the TinyOS interfaces used.

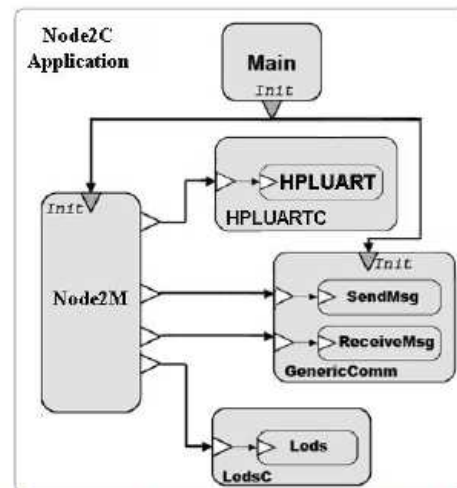


Fig. 4. connection for the interfaces used to program the node connected with the IC-PCR1000.

We have used the HPLUARTC component that is responsible of data transmission over the UART. It provides the interface HPLUSART Control and HPLUART.

HPLUARTC is a low level component that allows sending directly data of one byte over the serial port. The transmission of data over the UART port is controlled by the component TimerC.

We have used the interfaces SendMsg provided by the GenericComm component to assume the task of sending message.

#### B. Mote-PC Communication

This mote is connected to the PC via the UART port and is used to receive the broadcast signal from the mote and then shows the signals on the PC screen through the UART port.

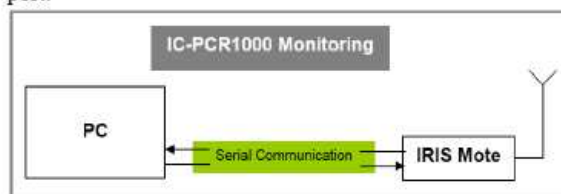


Fig. 5. IC-PCR1000 Monitoring

### IV. APPLICATIONS EXAMPLE: IC-PCR1000 REMOTE CONTROL FOR RADAR MEASUREMENT PROCESS

In this experiment we used two motes. The first one connected to the IC-PCR1000 through the UART port and



the second is connected to a remote PC through the UART.

The commands are sent from the PC to the mote by the air, and the response from IC-PCR1000 is replied by the same way through the mote connected to this later.

The objective of this experiment is to perform an automatic scanning by the IC-PCR1000 making a sweep over frequencies and modes of interest, so as to evaluate the radar signals behaviour.

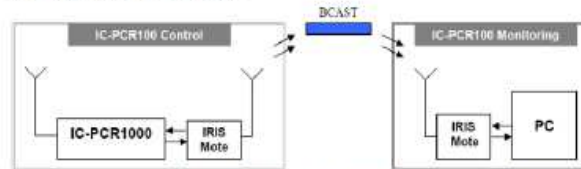


Fig. 6. Applications Example: IC-PCR1000 remote control for Radar measurement process

#### A. Mote-PCR1000 Programming

The commands from the mote to the IC-PCR1000 are sent in ASCII format as follow:

```
Command + CR + LF
CR = Chr$(13)
LF = Chr$(10)
```

The serial port of the XM2110 operates by default at a baud rate of 115200bps, while the IC-PCR1000's maximum baud rate is 38400 bps. Therefore, the baud rate of the XM2110 should be modified. This can be done at the mote software level. The lowest baud rate that is supported by the mote is 1200 bps. We decided to set both systems to 9600 bps.

We set the mote to this speed by changing the function of the file: "HPLUART0M.nc" as follow:

```
Async command result_t UART_init ()
{
    Outp (0, UBRR0H);
    Outp (95, UBRR0L);
    Outp ((0<<U2X), UCSR0A);
    Outp (((1<<UCSZ1) | (1<<UCSZ0)),
    UCSR0C);
    Outp (((1<<RXCIE) | (1<<TXCIE) | (1<<
    RXEN) | (1<<TXEN)), UCSR0B);
    Return SUCCESS;
}
```

At the IC-PCR1000 stage, the command used to change the baud rate was "G1". To set it to 9600 bps, we used the command:

```
G1 03 <CR><LF>
```

After changing the baud rate of the receiver it was necessary to use the "G0?" command to check if the connection status was OK.

#### V. CONCLUSION

A new method for controlling the IC-PCR1000 is developed. It is demonstrated that it is possible to communicate with the receiver without the use of the PC. This is achieved by implementing a protocol of communication using an IRIS XM2110 mote from Crossbow. The mote, autonomous, small, robust and versatile systems, is linked to the IC-PCR1000 UART port constituting a powerful and clean-method for the control and communication with IC-PCR1000.

- This method is a new method that allows working in the band LF/LW/MW/FM without the EMI emitted by the power supply of the PC and IC-PCR1000.

The experiment made validates the feasibility of the method, and shows applications that can be derived from this, like:

- IC-PCR1000 Remote control
- Avoiding the electromagnetic radiation hazards
- Monitoring of the Measurement process

This method can have an important reference value for amateur radio experiment and measurement made in the LF/LW/MW/FM mode based on the IC-PCR1000.

#### REFERENCES

- [1] M. Bakkali, C. Mascareñas, and ALL, "Feasibility Study of Advancing and Setting up Power Line Communication (PLC) System under Circumstances of Electromagnetic Compatibility (EMC) on the Ships," presented at 9th International Conference. Electrical Power Quality and Utilisation, 9-11 de octubre de 2007, Barcelona, Spain.
- [2] C. Mascareñas, M. Bakkali, and ALL, "Sistemas de Comunicaciones a través de la Red Eléctrica. Efecto Interferencias PLC en los unifamiliares," presented at International Science and Technology Conference, 21-22 March 2007, Malaga, Spain- 23 March 2007, Tangiers, Morocco.
- [3] Icomamerica. [Online]. Available: <http://www.icomamerica.com/en/receivers/>
- [4] C. Mascareñas Y. Pérez-Iñigo, M. Básico de Sistemas de Comunicaciones Marítimas, Universidad de Cádiz
- [5] Icom PCR-1000 Hardware controller. [Online]. Available: <http://www.astro.hr/ucionica/tom/hardware/>
- [6] Xbow. [Online]. Available: <http://www.xbow.com>
- [7] M. Bakkali, R. Carmona, and A. Rodriguez, "A Prototype Node for Wireless Vision Sensor Network Applications Development," International Symposium On Image/Video Communications over fixed and mobile networks ISIVC 2010, 30 de septiembre, 1-2 de octubre de 2010, Rabat, Morocco.
- [8] P. Levis, *TinyOS/necC Programming Reference Manual*, Crossbow Inc. January 2006.
- [9] Russ' ICOM PCR-1000. [Online]. Available: <http://gladden.org/pcr1000/index.html>
- [10] KB9JJA ICOM PCR-1000. [Online]. Available: <http://www.wentztech.com/radio/Equipment/PCR1000/PCR1000.htm>
- [11] Strong Signals-ICOM IC-PCR1000 Review. [Online]. Available: [http://www.strongsignals.net/access/content/tr\\_ic-pcr.html](http://www.strongsignals.net/access/content/tr_ic-pcr.html)
- [12] ICOM PCR 1000 Resource. [Online]. Available: <http://qsy.to/pcr/>
- [13] A stand-alone interface that emulates a PC control program. [Online]. Available: <http://jetvision.de/pcr1000.shtml>

# Feasibility Study of Advancing and Sitting up Power Line Communication (PLC) System under Environment of Electromagnetic Compatibility (EMC) into the Ships

M. Bakkali, C. Mascareñas, F. Sánchez de la Campa, C. Martín, F.J. Abad, M. Barea, J.M. Valverde, J. Valencia, J.E. Chover.

PAI-TIC 191 Grupo de Investigación Señales, Sistemas y Comunicaciones Navales. Departamento de Ciencias y Técnicas de la Navegación y Teoría de la Señal y Comunicaciones. Universidad de Cádiz. Campus of Río San Pedro, 11510-Puerto Real. Cádiz, Spain.

E-mail address: bakkali.med@caramail.com, carlos.mascarenas@uca.es

**Abstract**—This study will provide us with the basic preliminary data to adjust it to the big ships considering the specificity of its self-sufficiency in: Generation-Production of Electric Power, Distribution and Consumption. Several possible solution ways are shown in this paper

**Keywords**—PLC; Electrical Network Power; Radiation; Electromagnetic Compatibility; Radiocommunications.

## I. INTRODUCTION

Power Line Communications (PLC), is a technology that allows the transmission of data employing electric network as carrier. This means providing through this way whichever service based on Internet Protocol (IP) such as IP Telephony, Internet, Videoconference, quick data and others. This study will provide us with the basic preliminary data to adjust it to the big ships considering the specificity of its self-sufficiency in: Generation-Production of Electric Power, Distribution and Consumption. The interferences of these services in PLC occurs in frequencies from 2 to 30 MHz coinciding with frequencies assigned to the ship in the band of High Frequency, HF in a way that the Integrated Navigation System can be perturbed. Several possible solution ways are studied in this paper.

## II. APPLICATION INTO THE SHIP

At the present time, most of the control equipments is found in the designs of cargo and sailing-ships.

These controls are referred to the electric racks, to the control of the machines, and to the operations of load and discharge maneuvers, as well as to the wheel house or bridge. This complexity of electronic equipments is controlled by dedicated consols. The quantity of information that arrives to these equipments in form of electric signals for its prosecution is enormous and the importance of these is fundamental.

Also, the ships have big cable networks dedicated to their own internal communications: Private Automatic Branch Exchanger Telephone (PABX); point-to-point communications; nets of Public Address System with more than 200 speakers; and leisure nets (television video and music/radio broadcasting). For to cover services from the bow to the propeller, a ship bigger than 150 meters length over all can install more than 500 meters of cable of even for each individual line. In a ferry ship of medium size that has 200 cabins like minimum, the quantity of hours of installation and integration dedicated to the cabins can be reduced thanks to the use of the PLC on board.

In execution of the actual Convention of the Security of Life at Sea, the nets of mentioned internal communications should not be eliminated, for the application of the PLC should duplicate the functions of these, but never replace them if doesn't assure the same level of survival.

So, now, it is necessary to use a new design and integration philosophy of naval systems that keeps



in mind all and each one of the elements radiators and receivers of electromagnetic fields [URE 07] that are on board [MA 02] [MA 04] [MA et alii 04] [OTA 93] [UIT 02] [UIT 06], as well as to federate the lines of electric distribution and to redesign very well their installations [ABA 04] and magnetotermic and disructor number, with the purpose of avoiding to block those without communications in the case of a short circuit. The survival of the system by means of spare connections is one of the topics to search for the Engineers of the Naval Design Department.

### III. ADVANTAGES OF PLC

Instalton Benefits of PLC technology on board the ships:

- Decrease of the length and weight of the wires.
- Simplification of data transmission nets on board.
- Simplification of the maintenance and implementation of these nets.
- Reduction of the costs installation of the internal communications and data transmission nets.
- Reduction of the cost production and the ship exploitation.

To obtain these advantages it is necessary to reduce the RF interferences mitigation from the PLC and to know the immunity of the system PLC regarding the ship.

Adaptative "software" filters can be incorporated at the expense of the speed loss in the service. To identify which frequencies are to protect and functions of transfer of each filter are to get the maximum speed of data transmission are another technical challenges that should be solved.

### IV. INCONVENIENCES

- Electromagnetic noise.
- Band Contamination of Short Wave.
- Interferences in pre-existent services: amateur-radio and ships stations.
- Interferences in public services are defined in the same band of frequency of the PLC, 2 – 30 MHz like those of emergencies and security.
- Smaller security in communications' privacy for the inadequate use of wires for data transportation.
- Bigger contamination from the part of the radioelectric spectrum in which is defined.

To solve these inconveniences, the involved companies are working in the study of the progressive installation of PLC, with guarantees that allows to check if it is really possible to avoid the negative affectation at third.

### V. DESCRIPTION OF A GENERIC PLC NET

The transmission of data through the use of PLC technology is carried out by means of the employment of an electric net and it is necessary the use of several elements or devices such as:

- The Customer Presmises Equipment.

The CPE is the device which is given to the customer and that has a port of data (Ethernet/USB) where the PC is connected. Optionally the CPE can integrate a VoIP gateway with a RJ11 interface for the connection of a conventional telephone. The CPE also contains the PLC modem necessary for the reception and transmission of the digital information (voice and data) for the electric wires.

- PLC Repeaters

Equipment that regenerates the signals to increase its level and to eliminate transmission errors. These equipments are not always present, and if they exist, they are located in the electric room of a building concentrating the voice and the data of the resident in the building.

- Home Gateway

Equipment that has a bridge function, separating the access segments and domestics, and also marking the electric accountant (by means of a filter- a high way for the frequencies of interest).

- PLC Heads (Equipments Head End)

Equipments that settle in the Transformation Centers and that concentrate all the users information corresponding to the same mesh of low tension.

Two types of heads exist: one of Half Tension and the other of Low Tension whose maxims distances are respectively of 600 and 300 meters. They possess Ethernet interfaces to be able to be connected with the IP network.

They use very robust and adaptive modulation systems to the characteristics of the channel. As, for example, the OFDM system (system that uses three connections in each sense, being the most efficient and flexible, since it uses a multicarrier system) with 1280 carriers up to 30 MHz, adapting dynamically to the conditions of the channel, monitoring the conditions of sign relationship to noise of each subcarrier each 10 ms, and adapting in function of this the bit rate to transmit for the same one.



Diagrama de um sistema de transmissão de dados. O eixo horizontal representa a frequência em MHz, com marcas em 10 MHz, 20 MHz e 30 MHz. O eixo vertical representa a amplitude. Há três retângulos brancos representando canais de transmissão. Cada canal é precedido por um filtro (representado por um cone invertido) e seguido por um link (representado por uma linha vertical). Os links são rotulados LINK1, LINK2 e LINK3. Os filtros são rotulados Filtro. O primeiro canal está entre 0 e 10 MHz, o segundo entre 10 e 20 MHz, e o terceiro entre 20 e 30 MHz.

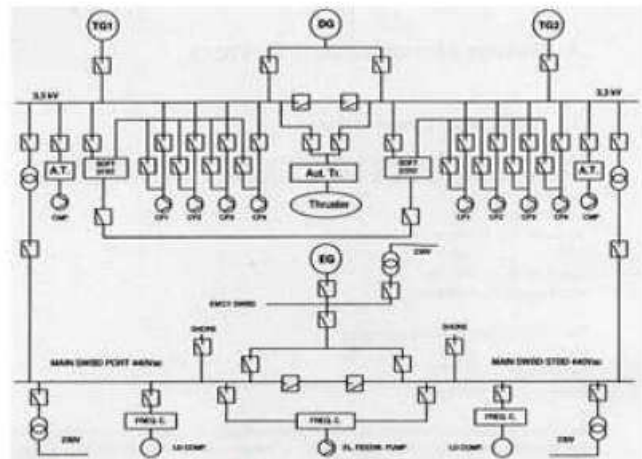
As there are diverse sources of noise, interferences, etc., PLC also uses, besides modulation robust techniques, different protection techniques to minimize the noise, as the code Reed-Solomon, the interleaving.

The world naval construction technology has advanced considerably in the last years. For this reason, today the ships' designs agglutinate in some few compartments, most of the ship control sets, looking for ergonomic improvements for a reduced crew. Thus, we can find in a ship the electric control room that is the heart of the ship and the engine control, loading control room and wheel house, as center of control in the ship.

LONGITUDINAL VIEW

Service	Meters
Average tension 3.300V	2.463
Low tension 440V/220V	138.675
Special Services	240.785
<b>Total</b>	<b>381.923</b>

The wire diagram for the force distribution system is the one shown next. [KON 02]



## VII. MEASURES AND TESTS.

- Measures into the electric transformer house, being the maximum levels that can be reached.
- The housing of the Accountants-room of a suffered amateur radio from interferences.
- Amateur Radiostation of EA7BO.
- Private Residence located in Puerto Real.
- Marina of the Bay located in Real Port, Cádiz.



Figure 4. Used instruments.

## VII. 1. TEST RESULTS

It is observed that the interferences caused by the system PLC in the bands of the Short Wave

- They affect the marine, aeronautical mobile services and Hams of the area (see figure 5).

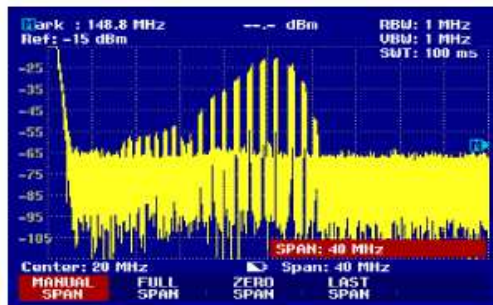


Figure 5. Interference caused by the circuits of low and half tension in HF from 4 to 24 MHz.

- The level of the interference caused by the circuit of half tension, under the specified conditions, overcomes the 45 dB on the noise bottom.
- The spectrum of interferences moves during the full time and they affect to all the frequencies.
- The reading of the interference on the noise bottom was of almost 10 dB centered in the frequency of 15,067 MHz.

The emissions, which were listened with bigger width and intelligibility although enough interfered by means of the ICOM R8500 Receiver, were broadcasting emissions of Double Side Band (8K00A3EGN) of countries where Arabic is spoken, while amateurs emissions in Single Lateral Band (2K70J3EJN) were completely interfered.

- The PLC system contaminates the radioelectric spectrum part in which it is defined. The level of intensity of the radiated sign varies as far as the cable distance is concerned, either low tube-wall or flexible cable.
- One of the proven effects has been the one that the radiation levels of the PLC are bigger than 20 dB to

the emissions of the VHF-FM broadcasting stations as we can see in the figure 6.

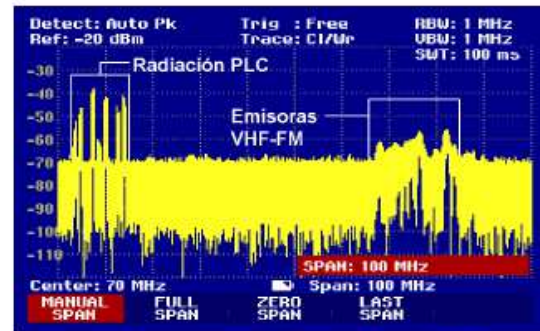


Figure 6. Comparison of the PLC radiation VHF-FM

## VIII. CONCLUSIONS

- The PLC system is valid for the function task.
- It reduces the costs use and maintenance when having a fixed installation – pre-existing - by way of portable net thing which is very important overalls for countries in development.
- The interferences are present in the full electric net because the cables behave as a node of radiant antennas of the PLC signals.
- With the result of the carried out tests, it is deduced that in the electromagnetic environment of the ship all the interfered phenomena derived from the installation of this system will be increased to critical levels which do not facilitate the complete immunity of the radiocomunicacion system, giving as a result a considerable degradation outside the limits of acceptance.
- The biggest inconvenience in the installation and acceptance of this system in the ships reside in the difficulty of assisting the necessary priority and the safety of life at sea and of the vessel.
- Nevertheless, an appropriate zonificacion and filtering of the PLC system can favor the safety, navigation and communication systems immunity favoring the installation of this system at the ship.

The telephony systems, leisure (video and audio), nets and all the internal communications (except those of emergency) could be substituted by the PLC on the board of a ship; accordingly, it is necessary to eliminate all type of interferences that can be caused in the radiocomunicacions' sets of the ship [MA 02] [MA 04] [MA et alii 04] [OTA 93] [UIT 02] [UIT 06] [URE07].



## THANKFULNESS

The authors want to be thankful to the funding contributions granted by Ministry of Public Works and the Ministry of Education and Science for the execution of the projects PN/FOM-TRANSP/PR/2003-037, TRA2004-00377/TMAR and Profit SIAN 2005 that has given rise the acquisition of the instruments with which it has been possible to make this small work.

## REFERENCES

- [ABA 04] Abad Fraga; F. Compatibilidad Electromagnética en Buques. Trabajo de Investigación de 2º Curso del Programa de Doctorado de "Tecnologías para la Defensa Bienio 2002-04" Universidad de Cádiz. 2004.
- [BER 06] Bermejo González; J.C.; Poncela Blanco; I. Prieto Herráez; D. PLC Power Line Communications Trabajo para la asignatura Sistemas de Telecomunicación II. Universidad de Valladolid. 2006.
- [KON 02] Function Design Specification of LNG project. Izar Puerto Real. Kongsberg Simrad. 2002  
<http://www.uva.es/descargar.htm?sessionid=C166B832DA5F6225D4B7619E056284F0&id=2880>
- [MAS 02] C. Mascareñas y Mariscal; L.A. Electromagnetics Fields at Civil Vessels. 3rd International Congress on Marine Innovation and Research. Bilbao. 6-9th November 2002.
- [MAS 04] C. Mascareñas Electromagnetics Fields at Civil Vessels and Harbour Areas. A data file creation project. 4rd International Congress on Marine Innovation and Research. Barcelona 19-23 October. 2004.
- [MAS *et al.* 04] C. Mascareñas, F. Sánchez de la Campa, C. Martín, "Campos electromagnéticos en el Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima". 1ªs Jornadas Internacionales Científicas y Técnicas. Algeciras y Tánger Diciembre 2004.
- [MAS *et al.* 05] C. Mascareñas, F.J. Abad, M. Bakkali, C. Martín, F. Sánchez de la Campa, M. Barea, J.M. Valverde, R. Rodríguez, J. Valencia, y J.E. Chover, Utilización de las líneas de distribución eléctrica a bordo de los buques para la transmisión de datos en banda ancha. Estado tecnológico y aplicación al buque, International Science and Technology Conference, 21-22 March 2007, Malaga (Spain) - 23 March 2007, Tangiers (Morocco).
- [OTA 93] Organización del Tratado del Atlántico Norte. Normas generales MIL-STD 461 y 462 de la OTAN. Así como específicas para cada equipo. "Requirements for the control of electromagnetic interference emissions and susceptibility". MIL-STD-461D. Enero-93 y "Measured of electromagnetic interference characteristics". MIL-STD-462D. Enero-93.
- [URE 07] <http://www.ure.es/plcure/>
- [UIT 02] Unión Internacional de Telecomunicaciones. Ginebra. Recomendación K.34 (02/00) -*Clasificación de las condiciones ambientales electromagnéticas de los equipos de telecomunicación* - Recomendación básica sobre compatibilidad electromagnética.
- [UIT 06] Unión Internacional de Telecomunicaciones. *Manual del Servicio Móvil Marítimo y Móvil Marítimo por Satélite*. Ginebra, 2006.

**9th International Conference  
Electrical Power Quality and Utilisation  
Barcelona, 9-11 October 2007  
www.epqu2007.com**



This is to certify that

Mohammed Bakkali

attended the

***9<sup>th</sup> International Conference Electrical Power Quality and  
Utilisation  
(EPQU 2007)***

***and present the paper***

***"Feasibility Study of Advancing and Sitting up Power Line  
Communication (PLC) System under Circumstances of  
Electromagnetic Compatibility (EMC) on the Ships "***

***(M.Bakkali,C.Mascareñas,F.Sánchez de la  
Campa,C.Martín,F.J.Abad,M.Barea,J.M.Valverde,J.Valencia,J.E.Chover)***

held in Barcelona, Spain, on 9 - 11 October, 2007

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Antonio Gómez Expósito'.

**Antonio Gómez Expósito  
Chairman**



## **Sistemas de Comunicaciones a través de la Red Eléctrica. Efectos del PLC en los unifamiliares.**

C. Mascareñas, M. Bakkali, C. Martín, F. Sánchez de la Campa, F.J. Abad, M. Barea,  
J.M. Valverde, R. Rodríguez, J. Valencia, J.E. Chover

Grupo de Investigación PAI-TIC 191, Señales, Sistemas y Comunicaciones de la Universidad de Cádiz.  
Departamento de Ciencias y Técnicas de la Navegación y Teoría de la Señal y Comunicaciones.  
Campus del Río San Pedro, 11510-Puerto Real. Cádiz.

### **Abstract**

The object of this paper is the study of interferences generated by the data transmission in the Power Line Indoors Communications (PLIC) inside a particular home corresponding to the county of Puerto Real.

### **Resumen**

En esta comunicación se describe el estudio de Compatibilidad Electromagnética (EMC) entre la Red de Transporte de Electricidad, en su tercer tramo o de baja tensión, (Power Line Communications, PLC) y los Sistemas de Radiocomunicaciones en onda corta entre 2 y 30 MHz. Para ello se ha evaluado una serie de características y factores de cada uno de los sistemas, que aun siendo distintos, están interrelacionados. La finalidad de este estudio es comprobar la posibilidad de trasladar este sistema de comunicación de datos vía red eléctrica aplicándolo al buque pero preservando la inmunidad de cada sistema.

**Keywords:** Radiocommunications, Electromagnetic Compatibility, Radiation

---

### **Introducción**

La necesidad de transmisión o transferencia de datos en la actual Sociedad de la Información ha tomado un cariz tan relevante como imprescindible. Para atender a esta necesidad de transporte de comunicaciones más eficientemente se necesita un *carrier* o sistema portador de la información. La red eléctrica, transportadora por propia naturaleza de este tipo de energía, puede convertirse en el mecanismo de transporte de comunicación de datos de alta velocidad, internet, videoconferencias, telefonía y otros. Esta técnica ya está siendo utilizada en compañías eléctricas que suministran este servicio tanto en núcleos industriales como poblacionales. Entre éstos se encuentra el ayuntamiento de Puerto Real, en la provincia de Cádiz, que es pionero en esta zona en la aceptación, experimentación y explotación de este sistema de comunicaciones vía red eléctrica. Este estudio nos proporcionará la información previa necesaria para trasladar esta tecnología a los grandes buques, para lo que habrá que tener en cuenta su especificidad: *autoproducción de energía eléctrica, distribución y consumo*.

### **Método**

Se trata de un estudio de compatibilidad electromagnética cuya finalidad ha sido comprobar el grado y nivel de interferencia que un sistema PLC puede producir en una vivienda y en su aledaña. Las pruebas han sido realizadas en una casa unifamiliar ubicada en la urbanización Marina de la Bahía situada en Puerto Real, Cádiz, España. Como fuente de datos se ha recurrido a las normativas de carácter técnico-legal que interesan a la temática. La unidad de análisis utilizada fue un domicilio privado situado en una zona residencial compuesta por unifamiliares adosados. Se tuvieron en cuenta los distintos factores contribuyentes en las interferencias a PLC como son las *características de la red eléctrica* en su tercer tramo de baja tensión: *voltaje, intensidad, frecuencia, conductores, e instalación, así como el comportamiento de la red/instalación* como un sistema radiante -interferente- de campos electromagnéticos. En los registros y evaluación de niveles de interferencias se ha prestado atención a la distancia de separación entre PLC y la acometida de la



red así como a la disposición (polarización) de la antena y su orientación en relación con el tendido del cableado bajo muro. Se han tenido en cuenta los tres factores siguientes: *ubicación* del Módem y Router inalámbrico, *distancia* entre el cuadro-acometida y la antena del medidor, así como la *orientación* de esta última.

### Normativa aplicable

La explotación de las redes y la prestación de los servicios de comunicaciones electrónicas, está regulada por la ley [1]. En ella se contempla el apartado de Interferencias en el sistema PLC producidas por exposición-proximidad. Por otra parte, la Comisión Europea [2] también se refiere a la aproximación de los Estados Miembros en materia de legislación relacionada con la compatibilidad electro-magnética. Manifiesta la responsabilidad de los miembros en materia de radio-comunicaciones, y en especial en comunicaciones a través de las redes de telecomunicaciones, disponiendo la protección frente a perturbaciones electromagnéticas producidas tanto por equipos y aparatos como por instalaciones fijas de uso permanente con el fin de preservar la inmunidad de los equipos e instalaciones en el entorno electromagnético.

También la UE [3], en lo relativo a las comunicaciones electrónicas de banda ancha a través de la red eléctrica incluye tanto los equipos como las redes: las *redes de comunicaciones* están compuestas por redes de cables que *conducen radiofrecuencias*, y comprende los sistemas de comunicaciones a través de la red eléctrica en el ámbito de aplicación de la directiva CEM. Para la adecuada gestión de la interferencia entre *sistemas alámbricos* y *sistemas radioeléctricos* se requiere un apropiado modelo de mediciones específicas *in situ*.

Las condiciones para la explotación de servicios de comunicaciones electrónicas, el servicio universal y la protección de

usuarios, es decir, el Reconocimiento, Inspección o Certificación técnica competente, así como el asegurar el cumplimiento de las normas de urbanismo, medio ambiente y ordenación del territorio, salud pública, seguridad pública, defensa nacional y tributación, están recogidas en el Reglamento regulado por Real Decreto [4] así como la prevención y corrección de la producción de interferencias perjudiciales.

La regulación de la compatibilidad electromagnética de los *equipos eléctricos* y *electrónicos*: Instalación fija y aparatos, (considerándose como "equipo" cualquier "instalación fija") ha sido objeto de regulación recientemente [5].



Figura 1: Esquema de la zona estudiada



Figura 2: Instalación de Baja Tensión

- A: Cuadro de Interruptores
- B: Contador Principal y acometida
- C: Contador casa colindante y acometida
- D: Cuadro de Interruptores de la casa colindante



### Instrumental utilizado

Las mediciones se realizaron tanto en Banda Ancha como en Banda Estrecha, empleándose para ello un medidor PMM8086A con sonda de campo eléctrico EP330S, un analizador de espectros R&S FSH3 con antena dipolo telescópica sobre trípode y un receptor de Radiocomunicaciones ICOM R8500 dotado de un monopolo telescópico.



Figura 3: Material utilizado en el ensayo.

Durante las mediciones realizadas se comprobó que el PLC contamina la parte del espectro radioeléctrico en el que se define y que el nivel de intensidad de la señal radiada varía con la distancia al cableado, ya sea bajo tubo-pared o de cable flexible. Igualmente se observa que con la orientación y polarización de la antena receptora se “busca” y se localiza la disposición en horizontal o vertical de la acometida bajo tubo-pared.

A continuación se expone en formato de imágenes el resultado de algunas mediciones realizadas y capturadas en el Analizador de Espectros durante una sesión de trabajo.

### Proceso de Mediciones-Observaciones

Mediciones con el MÓDEM-PLC encendido

Mediciones con MÓDEM apagado

Mediciones con Cuadro conectado

Mediciones con Cuadro desconectado

### Mediciones con el Módem Encendido - Apagado

Como se muestra en la figura 4, aparecen las interferencias causadas por el sistema PLC en las frecuencias de la banda

HF/Onda Corta que afectan a los servicios móviles marítimos, aeronáuticos y de aficionados de la zona. Cuando desconectamos el Módem, las interferencias siguen existiendo de la misma forma.

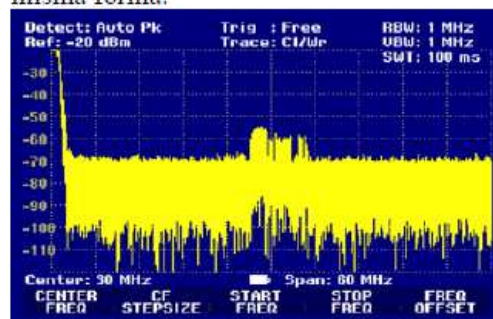


Figura 4: Interferencias PLC entre 0-60 MHz, todo conectado

La figura 5, muestra las interferencias causadas por el PLC cuando medimos en el punto de medida 2, que corresponde al cuadro de interruptores eléctricos y de la señal PLC, y se aprecia que las interferencias tienen un nivel mayor, al menos en 10 dB.

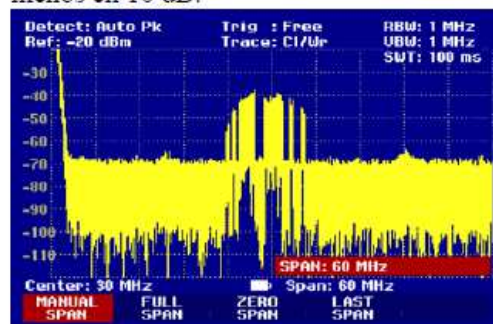


Figura 5: Interferencias PLC en punto de medida 2

### Mediciones con Cuadro Encendido - Apagado

Cuando desconectamos el cuadro, se observa una gran reducción en el nivel de interferencias en el punto de medición 1 (figura 6) pero siguen presentes cuando se mide en el punto de medición 2 (figura 7) que es el punto de la acometida de la señal.

Uno de los efectos comprobados ha sido el que los niveles de radiación emitidos por el PLC son superiores en 20 dB a las radiaciones VHF-FM de las estaciones de radiodifusión como se puede apreciar en la figura 9.



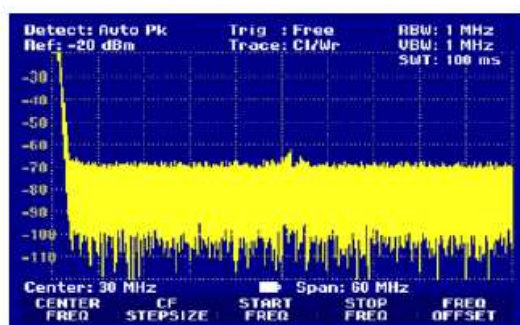


Figura 6: Interferencias PLC en punto de medida 1, con cuadro desconectado

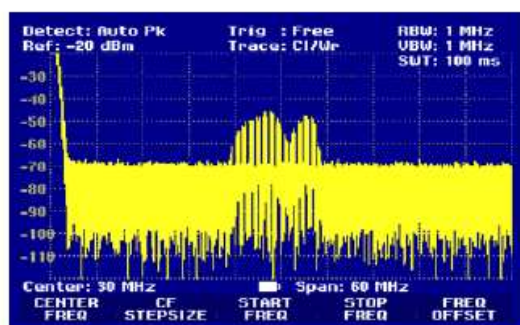


Figura 7: Interferencias PLC en punto de medida 2, con cuadro desconectado

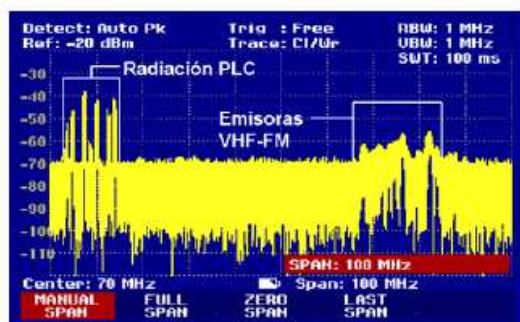


Figura 9: Comparación de la radiación PLC VHF-FM

## Conclusiones

El sistema PLC es válido para el cometido de su función.

Reduce los costes de utilización y mantenimiento al disponer de una instalación fija -existente- a modo de red portadora lo cual es muy atractivo sobretodo para países en vía de desarrollo. Las interferencias están presentes en toda la red eléctrica porque el cableado se comporta como un nodo de antenas radiantes de la señal PLC.

Con el resultado de las pruebas realizadas se deduce que en el entorno

electromagnético del buque todos los fenómenos interferentes derivados de la implantación de este sistema se verán incrementados pudiendo dar lugar a que la perturbación electromagnética no facilite la completa inmunidad del sistema de radiocomunicación, dando como resultado una degradación considerable fuera de los límites de aceptación.

El mayor inconveniente de la implantación y aceptación de este sistema en los buques radica en la dificultad de atender la necesaria prioridad y salvaguarda de la seguridad de la vida humana en el mar y de los bienes [6].

No obstante, una adecuada *zonificación* y *filtrado* del sistema PLC [7] puede favorecer la inmunidad de los sistemas de seguridad, navegación y comunicación del buque [8] favoreciendo la implantación de dicho sistema.

## Agradecimientos:

Los autores quieren agradecer las aportaciones económicas concedidas por el Ministerio de Fomento y por el Ministerio de Educación y Ciencia para la ejecución de los proyectos PN/FOM-TRANSP/PR/2003-037, TRA2004-00377/TMAR y el Profit SIAN 2005 que han dado lugar a la adquisición del instrumental con el que se ha podido realizar este pequeño trabajo.

## Bibliografía

- [1] Ley 32/2003, de 3 de noviembre. BOE núm. 264 de 4 de noviembre.
- [2] Directiva 2004/108/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de diciembre de 2004.
- [3] Recomendación 2005/292/CE de la Comisión de las Comunidades Europeas, de 6 de abril de 2005.
- [4] Real Decreto 424/2005, de 15 de abril. BOE núm. 102 de 29 de abril.
- [5] Real Decreto 1580/2006, de 22 de diciembre. BOE núm. 15 de 17 enero 2007.
- [6] MASCAREÑAS C., SÁNCHEZ DE LA CAMPA F., MARTÍN C., *Campos electromagnéticos en el Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima*. 1<sup>as</sup> Jornadas Internacionales Científicas y Técnicas. Algeciras y Tánger Diciembre 2004.
- [7] UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES. Ginebra. Recomendación K.34 (02/00) -Clasificación de las condiciones ambientales electromagnéticas de los equipos de telecomunicación - Recomendación básica sobre compatibilidad electromagnética.
- [8] UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES. *Manual del Servicio Móvil Marítimo y Móvil Marítimo por Satélite*. Ginebra, 2006.





## PAPER PRESENTATION

The paper

### **SISTEMAS DE COMUNICACIONES A TRAVÉS DE RED ELÉCTRICA. EFECTOS DEL PLC EN LOS UNIFAMILIARES**

by the authors

Carlos Mascareñas, M. Bakkali, C. Martín, F. Sanchez, F.J. Abad, M. Barea, J.M Valverde, R. Rodriguez, and J.E. Chover

has been presented in  
the II International Conference on Science and Technology  
JICT 2007  
held in Málaga (Spain)  
at University of Malaga  
21, 22 March 2007  
and in Tangier (Morocco)  
at ENSA  
23 March 2007

JICT 2007 Organizing Committee





## CONCLUSIONES

El objetivo de nuestra Tesis es el Estudio y Validación de un Método simplificado de Medida para su utilización en Laboratorios de Verificación de Compatibilidad Electromagnética en el entorno Marítimo.

- Hemos comprobado, mediante el estudio realizado en esta Tesis, que es posible disponer de un software fiable, conocido, expandible e intuitivo, junto con un receptor de VLF-UHF que pesa muy poco y que puede ser alimentado por batería, que es capaz de detectar un malfuncionamiento o una interferencia, localizar y si es posible identificar las fuentes de ruido e interferencias que pueden provocar fallos de funcionamiento de los equipos de un buque.
- Hemos demostrado que el método es válido para realizar medidas en banda estrecha.
- El método desarrollado es un sistema de medición automático, programable, y eficaz. Se han desarrollado los algoritmos, programas y métodos que permitan reproducir los experimentos realizados.
- Hemos desarrollado un sistema de base de datos de las señales analizadas que pueden ser guardados en formato audio (WAV), imágenes (BMP, JPEG) y datos (Fichero Access).
- Con nuestro método se puede caracterizar los ruidos y emisiones e identificar sus componentes más significativas en amplitud y frecuencia.
- El método tiene unas notables capacidades de medición que fueron presentadas en el capítulo de validación (Tabla 5.20). Hemos realizado estudio de comparación entre las especificaciones mínimas que debe tener un analizador de espectro para realizar

test de pre-conformidad de compatibilidad electromagnética y las características de nuestro método. El resultado del estudio de comparación da por nuestro método como válido para realizar dicho test.

- Como hemos visto en las Tablas 5.18 y 5.19, que representa respectivamente la sensibilidad del receptor IC-PCR1000, así que de la tarjeta de sonido. Con la tarjeta de sonido configurada a IEEE-32 bits y el receptor IC-PCR1000 en modo SSB, se obtiene una sensibilidad impresionante, que es una de las ventajas de nuestro método. Otra ventaja de nuestro método es la posibilidad de medir señales en banda estrecha. Este tipo de medición es muy importante en caso de tener señales muy cerca y podría ser presentados como si fuera una señal única si la selectividad del instrumento de medición no es lo suficiente estrecha.

- Las especificaciones totales de nuestro sistema de medición desarrollado presentan una excelente capacidad.

## **COROLARIO**

- El entorno marítimo puede englobar tanto Estaciones Costeras VHF, Estaciones Costeras MF/HF, Estaciones Costeras Terrenas (CES), Centros de coordinación (RCC), los Terminales de Usuario Local (LUT) , que puertos, barcos, astilleros, y centros de investigación relacionados con el mundo marítimo como el caso del Centro Andaluz de Estudios Marinos (CASEM), que es donde desarrollamos esta Tesis Doctoral. Por esta razón parte de las mediciones se han sido realizadas en el taller de Radiocomunicaciones de este centro, otras se realizaron en entorno similar al del marítimo.

- También he tenido la oportunidad de participar en varias mediciones, pruebas y test de compatibilidad electromagnética para certificación de equipos industriales, y poder realizar mediciones de prueba para mi método y así poder comparar los resultados con laboratorio de certificación que dispone de equipamiento calibrado.

- Hemos realizado cinco publicaciones en congresos internacionales, en todos los casos hemos visto un gran interés por el método que desarrollamos, y durante nuestra presentación hemos recibido varias preguntas y una buena interacción con otros investigadores.

- Esta Tesis abre el camino a muchos otros temas de investigación que creemos serían muy importantes de llevar a cabo, como el desarrollo de un método de auto-calibración de tarjetas de sonido, realizar enlaces entre los tres tipos de bases de datos desarrollados, realizar estudios sobre las diferentes antenas que pueden ser utilizadas junto con nuestro método. Se puede incorporar sistemas de supervisión del método de medición y poder controlar a distancia el protocolo de medición, así que recibir avisos por SMS, email, etc. cuando se detecta una interferencia, o presencia de una señal con un nivel especificado en una banda determinada. También es posible utilizar otros tipos de receptores parecidos al IC-PCR1000 que ha sido utilizado en nuestra Tesis.



## REFERENCIAS

- [ABB11] ABB Cuaderno de aplicaciones técnicas nº11, Introducción a los sistemas e instalaciones navales a bordo, Barcelona, 2011
- [ADS12] Aerospace & Defense Symposium 2012, Agilent Technologies, 31/05/2012, Madrid, Spain
- [ALLE92] S. G. Allen, Radiofrequency field measurements and hazard assessment, Journal of Radiological Protection, Volume 11, Number 1, 1991
- [BALC92] J. Balcello, F. Daura, R. Esparza, R. Pallás, Interferencias Electromagneticas en sistemas electrónicos, ISBN 84-267-0841-2.
- [BAKK et alii 15] M. Bakkali, C. Mascareñas-Perez-Iñigo, "Real time digital signal processing and measurement method for electromagnetic compatibility verification into the ships," in Information and Digital Technologies (IDT), 2015 International Conference on , vol., no., pp.28-34, 7-9 July 2015, Zilina, Slovaquia.
- [BAKK et alii 13] M. Bakkali, C. Mascareñas-Perez-Iñigo, "Real Time Digital Signal Analysis and Measurement", Proc. of the Intl. Conf. on Advances in Computing, Electronics and Communication- ACEC 2013, IRED, Zurich, Switzerland
- [BAKK et alii 12] M. Bakkali, C. Mascareñas-Perez-Iñigo, and R. Carmona-Galan, "IC-PCR1000 Control Using a Wireless Sensor Network (WSN)", International Journal of Computer and Communication Engineering, Vol. 1, No. 3, pp.290-292, September 2012, ISSN: 2010-3743
- [BAKK et alii 10] M. Bakkali, R. Carmona, A. Rodriguez, A Prototype Node for Wireless Vision Sensor Network Applications Development, International Symposium On Image/Video Communications over fixed and mobile networks ISIVC 2010, 30 de septiembre, 1-2 de octubre de 2010, Rabat, Morocco
- [BAKK et alii 07] Bakkali, M.; Mascarenas, C.; de la Campa, F.S.; Martin, C.; Abad, F. J.; Barea, M.; Valverde, J. M.; Valencia, J.; Chover, J. E., "Feasibility study of advancing and sitting up Power Line Communication (PLC) system under Environment of Electromagnetic Compatibility (EMC) into the ships," Electrical Power Quality and Utilization, 2007. EPQU 2007. 9th International Conference on , vol., no., pp.1,5, 9-11 Oct. 2007, Barcelona, Spain
- [BERG 69] GD Bergland, "A guided tour of the fast Fourier transforms," IEEE Spectrum, vol. 6, pp. 41-52, July 1969
- [BLAK04] Roy Blake, Sistemas Electrónicos de Comunicaciones, Thomson, México, 2004
- [BROW99] S. Brown, "Visual Basic 6", Ediciones Anaya Multimedia, S.A, Madrid 1999, ISBN: 84-415-0827-5
- [CARB96] J. A. Carballar, "El libro de las comunicaciones del PC – Técnicas, programación y aplicaciones", de la edición RA-MA, 1996
- [CERN et alii 00] Michael Cerna and Audrey F. Harvey, The Fundamentals of FFT-Based Signal Analysis and Measurement, National Instruments, application note 041, July 2000

- [CHEN et alii 09] Aiju Chen; Jingjing Liu, "A Kind of Virtual Oscilloscope Used in Experiment Teaching Based on Sound Card and LabVIEW," Education Technology and Training, 2009. ETT '09. Second International Conference on , vol., no., pp.118,121, 13-14 Dec. 2009
- [COIT 08] COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACION Área de Actividades Tecnológicas y actuaciones profesionales Catedra coit (etsit-Upm), "Emisiones Radioeléctricas: Normativa, Técnicas de Medida y Protocolos de Certificación", Cuaderno 01/2008
- [COOL et alii 65] J.W. Cooley and J.W. Tukey, "An algorithm for the machine calculation of complex Fourier Series," Mathematics Computation, Vol. 19, 1965, pp 297-301
- [DOUE 13] DIRECTIVA 2013/52/UE DE LA COMISIÓN de 30 de octubre de 2013 por la que se modifica la Directiva 96/98/CE del Consejo sobre equipos marinos, Diario Oficial de la Unión Europea, L 304/1, 14.11.2013
- [DOUE 04] DIRECTIVA 2004/108/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 15 de diciembre de 2004, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética y por la que se deroga la Directiva 89/336/CEE, Diario Oficial de la Unión Europea, L 390/24, 31.12.2004
- [DOUE 97] DIRECTIVA 96/98/CE DEL CONSEJO de 20 de diciembre de 1996 sobre equipos marinos, Diario Oficial de la Unión Europea, DO L 46 de 17.2.1997, p. 25
- [EMCA15] Test report No: NIE45801REM.005- Partial Test Report, Electromagnetic compatibility (EMC)--part 6-4: Generic standards-Emission standard for industrial environments & Electromagnetic compatibility (EMC)--part 6-2: Generic standards - Immunity for industrial environments, 2015-07-07
- [EMCA13] Test report No: NIE: 40225REM.001 - TEST REPORT, REFERENCE STANDARDS: EN 61000-6-4 (2007) / A1 (2011) & EN 61000-6-2 (2005) / AC (2005), Electromagnetic compatibility (EMC) -- Part 6-4: Generic standards - Emission standard for industrial environments & Electromagnetic compatibility (EMC) -- Part 6-2: Generic standards - Immunity for industrial environments, 2013-10-14
- [EMCA12] Test report No: NIE: 36878REM.001 – PARTIAL TEST REPORT, REFERENCE STANDARD: EN 61000-6-4 (2007), Electromagnetic compatibility (EMC) -- Part 6-4: Generic standards - Emission standard for industrial environments, 2012-08-28
- [FREE 82] E.R.Freeman, "Interference Suppression Techniques for Microwave antennas and Transmitters", Artech House, Washington, 1982, ISBN: 0-89006-110-6
- [FREN 03] Louis E. Frenzel, "Sistemas Electrónicos de Comunicaciones", Alfaomega Grupo Editor, El Manto (México), 2003
- [GADE et alii 11] S. Gade, N. Thrane, H. Konstantin-Hansen & J. Wismer, "Application Note, Time Windows", Brüel & Kjær, Denmark, 2011
- [HAR 78] Harris, F.J., "On the use of windows for harmonic analysis with the discrete Fourier transform," Proceedings of the IEEE , vol.66, no.1, pp.51,83, Jan. 1978
- [HEN09] W. Ott Henry, "Electromagnetic Compatibility Engineering", Sep 2009, ISBN: 978-0-470-18930-6
- [IBM91] WAVE specifications, version 1,0, 1991-08 "Multimedia Programming Interface and Data Specification 1,0" Microsoft Corporation and IBM Corporation



- [HITC95] R. T. Hitchcock, R. M. Patterson, "Radio-Frequency and ELF Electromagnetic Energies", John Wiley & Sons, Inc, 1995, ISBN: 0-442-00945-3
- [IEC90] IEC, "IEC 50 (161): International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 161: Electromagnetic compatibility". IEC International Standard, 1990.
- [IEEE 98] "IEEE standard definitions of terms for radio wave propagation," IEEE Std 211-1997, vol., no., pp.-, 20 May 1998.
- [IMO07] "Manual on the Global Maritime Distress and Safety System (GMDSS)", International Maritime Organization (IMO), Switzerland, 2007, ISBN 978-92.801-4233-4
- [GASQU90] C. GASQUET, P. WITOMSKI, "Analyse de Fourier et Applications, Filtrage, Calcul numérique", Ondelettes, Masson Paris, 1990, ISBN 2-225-82018-X
- [GLAS70] J. A GLASSMAN, "A generalization of the fast Fourier transform" IEEE Transactions on computers, VOL. C19, NO. 2, February 1970
- [GUNA et alii 10] Gunawan, T.S.; Khalifa, O.O., "PC sound card based instrumentation and control," Computer and Communication Engineering (ICCCE), 2010 International Conference on , vol., no., pp.1,4, 11-12 May 2010
- [JENG 03] Jeng-Kuang Hwang, "Innovative communication design lab based on PC sound card and Matlab: a software-defined-radio OFDM modem example," Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2003. Proceedings. (ICASSP '03). 2003 IEEE International Conference on , vol.3, no., pp.III,761-4 vol.3, 6-10 April 2003
- [KABA11] P. Kabal (03-01-2011). "Audio File Format Specifications - WAVE or RIFF WAVE sound file". McGill University. Consultado el 20-04-2011
- [KNAV] B. Knave, "Radiaciones no ionizantes", Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, Capítulo 49
- [LATH86] B. P. Lathi, "Sistemas de Comunicación", Nueva Editorial Interamericana, México, 1986
- [LYON10] Richard G. Lyons, "Understanding Digital Signal Processing", Pearson Education, 2010, ISBN 0137028520, 9780137028528, 944 páginas
- [LEES93] Graham D. LEES and William G. WILLIAMSON , "Handbook for Marine Radio Communication", ISBN 1-85044-472-2, Lloyd's Of London Press LTD, Great Britain, 1993
- [LFEA 02] E.C.Lfeachor, B.W.Lervis, "Digital Signal Processing, A practical Approach, Second Edition", Pearson Education Limited, England, 2002
- [LUC 90] Lucas, J. M. and Saccucci, M. S. (1990). "Exponentially weighted moving average control schemes: Properties and enhancements", Technometrics 32, 1-29
- [MAND07] M. Mandaji et al., "Performance of a sound card as data acquisition system and a lock-in emulated by software in capillary electrophoresis", Talanta 71 (2007)
- [MASC et alii 07] C. Mascareñas, M. Bakkali, C. Martín, F. Sánchez de la Campa, F.J. Abad, M. Barea, J.M. Valverde, R. Rodríguez, J. Valencia, J.E. Chover, "Sistemas de Comunicaciones a través de la Red Eléctrica. Efecto de Interferencias PLC en los unifamiliares", International Science and Technology Conference, 21-22 March 2007, Malaga (Spain) - 23 March 2007, Tangiers (Morocco)

- [MASC11] C Mascareñas y Pérez-Íñigo, "Manual Básico de Sistemas de Comunicaciones Marítimas", Universidad de Cádiz, 2011, 2ª edición, ISBN 84-7786-857-3
- [MARK78] John Markus, "Diccionario de electrónica y técnica nuclear", Marcombo Boixareu Editores, Barcelona, 1978
- [MIDD87] D. MIDDLETON, "An Introduction to Statistical Communication Theory", Los Altos, California, 1987, ISBN: 0-932146-15-5
- [MICR 11] Microsoft Corporation "Multiple Channel Audio Data and WAVE Files "Consultado el 20-04-2011
- [MICR07] Microsoft Corporation, "A Wave Port Driver for Real-Time Audio Streaming" - Windows Vista Version - September 17, 2007
- [MICR95] Microsoft Corporation, "Universal Audio Architecture" - Draft Version 0.7b - August 5, 2005
- [MICR94] Microsoft Multimedia standards Update, "New Multimedia Data Types and Data Techniques", april 15, 1994, revision 3.0
- [MINF07] "Reglamento de las Radiocomunicaciones Marítimas a bordo de los buques civiles españoles, Real Decreto 1185/2006", de 16 de octubre, Ministerio de Fomento, ISBN 978-84-498-0800-5, Madrid 2007
- [MOLI et alii 06] Molina-Lopez, V.; Botello-Perez, M.; Garcia-Ruiz, I., "Validation of the Open-Area Antenna Calibration Site at CENAM," in Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on , vol.58, no.4, pp.1126-1134, April 2009
- [MULL et alii 01] Mullner, W.; Garn, H., "From NSA to site-reference method for EMC test site validation," in Electromagnetic Compatibility, 2001. EMC. 2001 IEEE International Symposium on , vol.2, no., pp.948-953 vol.2, 2001
- [NEIT et alii 07] Neitzert, H.C.; Rainone, N.G., "Photocurrent and electroluminescence mapping system for optoelectronic device characterization using a PC sound card for data acquisition," Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings, 2007. IMTC 2007. IEEE , vol., no., pp.1,6, 1-3 May 2007
- [OMS15] Organización Mundial de la Salud, <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatIsEMF/es/>
- [PAPO77] A. Papoulis, "Signal Analysis" McGraw-Hill Book Company, New York, 1977, ISBN. 0-07-048460-0
- [PRES86] Preston E. LAW JR., "Shipboard Antennas", 2nd edition ISBN: 0-89006-211-0, Artech house inc. 1986
- [PRES 87] L. Preston E., "Shipboard Electromagnetics" Artech House, Inc, 1987, ISBN 0-89006-247-1
- [QUAN et alii 11] Xiaoli Quan; Nanquan Zhou; Haotian Wu, "Design of sound card electrocardiosignal acquisition system based on LabVIEW," Multimedia Technology (ICMT), 2011 International Conference on , vol., no., pp.282,285, 26-28 July 2011
- [ROBI 82] Robinson, E.A., "A historical perspective of spectrum estimation," Proceedings of the IEEE , vol.70, no.9, pp. 885-907, Sept. 1982

- [ROB59] Roberts, S.W. (1959) "Control Chart Tests Based on Geometric Moving Averages", *Technometrics*, 1, 239-250
- [RUIT12] Reglamento de Radiocomunicaciones, Unión Internacional de Telecomunicaciones, edición 2012, Ginebra
- [RUIT04] Reglamento de Radiocomunicaciones, Unión Internacional de Telecomunicaciones, edición 2004, Ginebra
- [RYBA 04] Terence Rybak, Mark Steffka , *Automotive Electromagnetic Compatibility (EMC)*, ISBN: 1-4020-7713-0, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2004
- [SORE 87] HV Sorensen and all, *Real Valued Fast Fourier Transform Algorithms*, IEEE Transactions on acoustics, speech, and signal processing, VOL. ASSP-35, NO. 6, June 1987
- [SEBA 99] J. L. Sebastián, "Fundamento de Compatibilidad Electromagnetica", Addison Wesley, 1999
- [SHEN et alii 09] Xu Xin-sheng; Wang Guo-qiang; Wang Yu-lan; Zhang Hui-jun; Li Xiao-hui, "Study on precise frequency measurement based on sound card," *Electronic Measurement & Instruments*, 2009. ICEMI '09. 9th International Conference on , vol., no., pp.2-455,2-458, 16-19 Aug. 2009
- [SMIT 97] S.W. Smith; *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*, California Technical Publishing, 1997, ISBN 0966017633
- [SOL94] Solomon, O., Jr., "The use of DFT windows in signal-to-noise ratio and harmonic distortion computations," *Instrumentation and Measurement*, IEEE Transactions on , vol.43, no.2, pp.194,199, Apr 1994
- [TEKT12] *Real-Time Spectrum Analysis for EMI Diagnostics*, Application Note, Tektronix, 2012
- [UIT 99] Unión Internacional de Telecomunicaciones, "Manual para uso de los servicios móvil marítimo y móvil marítimo por satélite", Edición español 1999, Oficina de radiocomunicaciones
- [WITT93] Robert A. Witte, *Electronic Test Instruments. Theory and Applications*, Hewlett-Packard, New Jersey, 1993
- [XIAN 10] Zhao Xian-ling, "The Virtual Instrument Based on Labview and Sound Card," *Computational Aspects of Social Networks (CASoN)*, 2010 International Conference on , vol., no., pp.743,745, 26-28 Sept. 2010
- [ZIEM 76] R.E.Ziemer and W.H.Tranter, *Principles of Communications, Systems, Modulation, and Noise*, Houghton Mifflin Company, USA, 1976, ISBN 0-395-20603-0
- [ZIXI et alii 11] Zixin Zhao; Shuxiang Guo, "Development of an acoustic communication system for multiuser based on sound card," *Complex Medical Engineering (CME)*, 2011 IEEE/ICME International Conference on , vol., no., pp.264,267, 22-25 May 2011



## **ANEXO 1: PROGRAMACIÓN**



```

Private AVG_FFT() As Single
'MB 31/05/2015
Private Declare Function GetDesktopWindow Lib "user32" () As Long
Private Declare Function GetDC Lib "user32" (ByVal hWnd As Long) As Long
Private Declare Function BitBlt Lib "gdi32" (ByVal hDC As Long, ByVal x As Long, ByVal y As Long, ByVal nWidth As Long, ByVal
nHeight As Long, ByVal hSrcDC As Long, ByVal xSrc As Long, ByVal ySrc As Long, ByVal opCode As Long) As Long
Private Declare Function ReleaseDC Lib "user32" (ByVal hWnd As Long, ByVal hDC As Long) As Long
Private Declare Function GetPixel Lib "gdi32" (ByVal hDC As Long, ByVal x As Long, ByVal y As Long) As Long
'FINMB 31/05/2015

Private GUARDAR_PANTALLA_COMPLETA As Boolean
Private NIVEL_DETECTADO As Boolean
Private VALOR_MHZ As Integer
Private VALOR_KHZ As Integer
Private VALOR_HZ As Integer

Private STEEP_FRQ As Integer
Private AVG_MAX_MEM As Boolean
Private NUM_MUESTRAS_PANTALLA As Integer

'VALORES DE COORDENADAS DE LA PICTURE 2 ESCALADO
Private XMIN As Integer
Private XMAX As Integer
Private YMIN As Integer
Private YMAX As Integer

Private CONTADOR_CN As Integer
Private CONTADOR_CN1 As Integer
Private CURSOR_NIVEL As Single

Private CONTADO_KH As Integer
Private CONTADO_MHZ As Integer
Private TABLA_AVG_LIN2() As Single

Private AVG_CALC_LIN2 As Single
Private AVG_LIN2 As Boolean
Private TABLA_TRIGGER() As Single
Private Dif_trigger As Integer
Private TRIGGER As Boolean
Private CONTADOR_DIBUJAR_LIN As Integer
Private CONTADOR_AVG_MAX As Integer
Private CONTADOR_AVG_LIN As Integer
Private NUM_BUCLE_AVG_LIN As Integer

'variable para calcular promediado del valor de amplitud
Private compteur As Integer
Private promedio As Single
Private TAB_Promedio() As Single 'tabla utilizada para promediado lineal

'variable usada para hacer el zoom
Public Zoom_L1 As Integer
Public Zoom_L2 As Integer
Public Posicion_L1 As Single
Public Posicion_L2 As Single

'usado para calcular el maximo de la FFT
Public Maxx As Single
Public Minn As Single

'PARAMETROS DEL PCR1000
Public PAQUETE As String 'declaramos una variable tipo string para almacenar datos
' de los paquetes
Private cadena As String
Public Modo As String ' se utiliza para la base de datos
Public Ancho_banda As Single
Public Nivel_senal As Single

```

'utilizados para modo escaneo programado

\*\*\*\*\*

Private Scan\_paquete1 As String

Private Scan\_paquete2 As String

Private Scan\_paquete3 As String

Private Scan\_paquete4 As String

\*\*\*\*\*

'utilizado para saber que modo activo

Public Escaneo\_auto As Boolean

Public Base\_datos As Boolean

Public Modo\_preprogramado As Boolean

'utilizada para teclado

Private teclado(0 To 9) As String

'-----

'utilisé en combo5 pour changer la frequence

Public Valor\_Filtro As Double

'-----

'Numero de punto de la FFT

Public N\_FFT As Integer

'-----

'frecuencia de muestreo

'Public FS As Long

'-----

'VARIABLE UTILIZADO PARA EL PROMEDIADO AVERAGE

Public AVG\_BOUCLE As Integer

Private AVERAGE As Boolean

Private AVG\_MAX As Boolean

Private AVG\_EXP As Boolean

Private Alpha As Single

Private YN() As Single

Private YN\_1() As Single

' variables utilizada para dibujar maximos en pantalla

Private OBTENER\_MAX As Boolean

Private POS\_MAX() As Integer 'aqui guardo donde esta el maximo

Private valor As Single

Private POS As Integer

Private ii As Integer

'Table utilizada para el calculo de los máximos

Private MAX\_FFT() As Single

Public MAXIMO\_FFT As Single

'Utilizados para activar si se va representar Magnitud, Potencia Normalizada o otro

Public Magnitud As Boolean

Public Power\_normalised As Boolean

Public power As Boolean

Private Declare Function GetCurrentProcess Lib "kernel32" () As Long

Private Declare Function PRIORIDAD\_SISTEMA Lib "kernel32" (ByVal hProcess As Long, ByVal dwPriorityClass As Long) As Long

Private Const HIGH\_PRIORITY\_CLASS = &H80

Private Const NORMAL\_PRIORITY\_CLASS = &H20

Private frmProcess As Long

Private Const REFRESH\_UPDATE = 2

Private RefreshCount As Long

Private LOI As Double



```

Private LAI As Double
Private YAI As Double
Private YOI As Double

Private CopiaP As IPictureDisp
Private TablaC(0 To 520) As Long

Private NombreB As String
Private NombreA As String
Private TiempoD As Date
Private TiempoPP As Long
Private IndiceN As Long
Private NombreO As Long
Private NombreCH As Long
Private VariableXC As Boolean
Private TiempoG As Long
Private TiempoR As Long

Private Sub Boton_OFF_Click()
    Boton_OFF.Visible = False
    Boton_ON.Visible = True

    Timer1.Enabled = True
    Timer2.Enabled = True
    Timer3.Enabled = True
    'Encender la radio ON

    Text2.Text = ""

    MSComm1.Output = "H101" & Chr$(13) & Chr$(10)
    'Buffer$ = Buffer$ & MSComm1.Input
End Sub

Private Sub Boton_ON_Click()
    Boton_OFF.Visible = True
    Boton_ON.Visible = False

    Timer1.Enabled = False
    Timer2.Enabled = False
    Timer3.Enabled = False
    'Apagar la radio OFF

    'Text2.Text = ""
    MSComm1.Output = "H100" & Chr$(13) & Chr$(10)

    With Picture4
        .AutoRedraw = True
        .Cls
        Picture4.Line (1200, 1300)-(200, 555), vbYellow
    End With
End Sub

Private Sub Aplicar_Zoom_Click()
    Picture2.Scale (Posicion_L1, 85)-(Posicion_L2, -3)
    Y_Max.Text = 85
    Quitar_Zoom.Visible = True
    Aplicar_Zoom.Visible = False
End Sub

Private Sub Cambiar_Coordenadas_Click()
    If Not ((X_MIN.Text) = "" And (Y_Max.Text) = "" And (X_MAX.Text) = "" And (Y_Min.Text) = "") Then

        Picture2.Scale (Val(X_MIN.Text), Val(Y_Max.Text))-(Val(X_MAX.Text), Val(Y_Min.Text))

        'MsgBox "Se ha cambiado el escalado de la pantalla del Espectro", vbInformation
    Else

        MsgBox "Los valores no pueden ser vacios", vbInformation
    End If
End Sub

```

```

Private Sub Check_Magnitud_Click()
If Check_Magnitud.Value = 1 Then
Check_power.Value = 0
Power_N.Value = 0
Magnitud = True
Power_normalised = False
power = False
Picture2.Scale (0, 500)-((N_FFT / 2), 0)
Label47.Visible = True
Label47.Caption = "Magnitud "
End If
End Sub

```

```

Private Sub Check_power_Click()
If Check_power.Value = 1 Then
Check_Magnitud.Value = 0
Power_N.Value = 0
Magnitud = False
Power_normalised = False
power = True
Picture2.Scale (0, 85)-((N_FFT / 2), -3)
Label47.Visible = True
Label47.Caption = "POTENCIA"
End If
End Sub

```

```

Private Sub Check1_Click()
If Check1.Value = True Then
Filtrado = True
Else
Filtrado = False
End If

```

```

End Sub

```

```

Private Sub Check10_Click()
If Check10.Value = 1 Then
Label70.Caption = "AVG MAX"
    AVG_MAX = True
    Check12.Value = 0
    Check9.Value = 0
    Check15.Value = 0
    VScroll8.Enabled = False

```

```

Else
    AVG_MAX = False
    VScroll8.Enabled = True
    Label70.Caption = "NO AVG"
End If
End Sub

```

```

Private Sub Check11_Click()
If Check11.Value = 1 Then

```

```

ReDim Preserve TAB_Promedio(0 To (N_FFT / 2)) ' MB 03/05/2015
Label39.Caption = VScroll9.Value
AVG_BOUCLE = Val(Label39.Caption)

```

```

OBTENER_MAX = True
    Label46.Caption = VScroll14.Value
ii = VScroll14.Value
MAXIMO_FFT = MAX_FFT(1)

```

```

Else
OBTENER_MAX = False
compteur = 0
End If
End Sub

```

```

Private Sub Check12_Click()

```

```

If Check12.Value = 1 Then
Label70.Caption = "AVG EXP"
    AVG_EXP = True
    Check10.Value = 0
    Check9.Value = 0
    Check15.Value = 0
Else
    AVG_EXP = False
    Label70.Caption = "NO AVG"
End If
End Sub

Private Sub Check13_Click()
If Check13.Value = 1 Then
TRIGGER = True
ReDim Preserve TABLA_TRIGGER(0 To (N_FFT / 2))
Else
TRIGGER = False
'Dim cn_i As Integer
'For cn_i = 0 To (N_FFT / 2)
'TABLA_TRIGGER(cn_i) = 0
'Next cn_i
End If
End Sub

Private Sub Check14_Click()
If Check14.Value = 1 Then
AVG_LIN2 = True
Else
AVG_LIN2 = False

End Sub

Private Sub Check15_Click()
If Check15.Value = 1 Then
Label70.Caption = "AVG MAX MEM"
    AVG_MAX_MEM = True
    Check12.Value = 0
    Check9.Value = 0
    Check10.Value = 0
    Check11.Enabled = False

Else
    AVG_MAX_MEM = False
    Label70.Caption = "NO AVG"
    Check11.Enabled = True
End If
End Sub

Private Sub Check16_Click()
If Check16.Value = 1 Then
GUARDAR_PANTALLA_COMPLETA = True

Else
GUARDAR_PANTALLA_COMPLETA = False
End If
End Sub

Private Sub Check2_Click()

End Sub

Private Sub Check3_Click()
If Check3.Value = 1 Then
Label44.Visible = True
Label45.Visible = True
Label59.Visible = True
Label60.Visible = True
Label61.Visible = True

```

```

Label62.Visible = True
Label63.Visible = True
Label64.Visible = True

```

```

Else
Label44.Visible = False
Label45.Visible = False
Label59.Visible = False
Label60.Visible = False
Label61.Visible = False
Label62.Visible = False
Label63.Visible = False
Label64.Visible = False
End If
End Sub

```

```

'ANALISIS EN EL DOMINIO DE TIEMPO

```

```

Private Sub Check5_Click()
If Check5.Value = 1 Then
Form5.Visible = True
Form5.Frame1.Visible = True
Form5.Width = Form5.Frame1.Width
Form5.Height = Form5.Frame1.Height
Else
Form5.Visible = False
Form5.Frame1.Visible = False

```

```

End If

```

```

End Sub

```

```

Private Sub Check9_Click()
If Check9.Value = 1 Then
Label70.Caption = "AVG LIN"
AVERAGE = True
VScroll9.Enabled = False
Check10.Value = 0
    Check12.Value = 0
    Check15.Value = 0
Else
AVERAGE = False
VScroll9.Enabled = True
Label39.Caption = 1
CONTADOR_AVG_LIN = 0
Label70.Caption = "NO AVG"
End If

```

```

End Sub

```

```

Private Sub Command4_Click()
If Not ((Text6.Text) = "" And (Text12.Text) = "" And (Text7.Text) = "" And (Text8.Text) = "") Then

```

```

Picture5.Scale (Val(Text6.Text), Val(Text12.Text))-(Val(Text7.Text), Val(Text8.Text))

```

```

'MsgBox "Se ha cambiado el escalado de la pantalla del Espectro", vbInformation
Else

```

```

MsgBox "Los valores no pueden ser vacios", vbInformation

```

```

End If
End Sub

```

```

Private Sub Command6_Click()
Timer5.Enabled = False
VScroll23.Enabled = True
End Sub

```

```

Private Sub DBASE_Click()
Base_datos = True
Form3.Width = Form3.Frame1.Width + 100
Form3.Height = Form3.Frame1.Height + 300

```

```

Form3.Visible = True
Form3.Frame1.Visible = True
End Sub

Private Sub Dominio_tiempo_Click()
Picture5.Visible = True
Label21.Visible = True
Dominio_tiempo_off.Visible = True
Dominio_tiempo.Visible = False
End Sub

Private Sub Dominio_tiempo_off_Click()
Dominio_tiempo_off.Visible = False
Dominio_tiempo.Visible = True
Picture5.Visible = False
Label21.Visible = False
End Sub

Private Sub Escalar_Click()
L_YMAX.Visible = True
L_YMIN.Visible = True
Y_Max.Visible = True
Y_Min.Visible = True
L_XMAX.Visible = True
X_MAX.Visible = True
L_XMIN.Visible = True
X_MIN.Visible = True
Cambiar_Coordenadas.Visible = True

End Sub

Private Sub ESCANEO EMC_Click()
Frame3.Visible = True
Frame3.Enabled = True

End Sub

Private Sub Image1_Click()
Image1.Visible = False
Image2.Visible = True

Timer1.Enabled = False
Timer2.Enabled = False
Timer3.Enabled = False
'Apagar la radio OFF

'Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "H100" & Chr$(13) & Chr$(10)

    With Picture4
        .AutoRedraw = True
        .Cls
        Picture4.Line (1200, 1300)-(200, 555), vbYellow
    End With
End Sub

Private Sub Image2_Click()

'If Label11.Caption = "" Then
'If Not (MSComm1.CommPort) Then

'Dim Mensaje As String
Mensaje = "Es Necesario Definir el numero de Puerto Serie"
'Estilo = vbYesNo + vbCritical + vbDefaultButton2 ' Define los botones.
'Estilo = vbInformation
'Título = "MBAKKALI" ' Define el título.
'Ayuda = "DEMO.HLP" ' Define el archivo de ayuda.
'Ctxt = 1000 ' Define el tema
    ' el contexto
    ' Muestra el mensaje.
'MsgBox Mensaje, vbInformation

```

```

'MsgBox Mensaje, Estilo, Título, Ayuda, Ctxt

'Respuesta = MsgBox(Mensaje, Estilo, Título, Ayuda, Ctxt)
'If Respuesta = vbYes Then ' El usuario eligió el botón Sí.
'  MiCadena = "Sí" ' Ejecuta una acción.
'Else ' El usuario eligió el botón No.
'  MiCadena = "No" ' Ejecuta una acción.
'End If
'Else
Image1.Visible = True
Image2.Visible = False

Timer1.Enabled = True
Timer2.Enabled = True
Timer3.Enabled = True
'Encender la radio ON

Text2.Text = ""

' Turn radion On
  MSComm1.Output = "H101" & Chr$(13) & Chr$(10)

' Set Volume varia entre 00 y FA
  MSComm1.Output = "J4050" & Chr$(13) & Chr$(10)
'
End Sub

Private Sub L1a_Click()
Picture2.Cls
Zoom_L1 = Zoom_L1 - 1
End Sub

Private Sub L1a_DblClick()
Picture2.Cls
Zoom_L1 = Zoom_L1 - 10
End Sub

Private Sub L1b_Click()
Picture2.Cls
Zoom_L1 = Zoom_L1 + 1
End Sub

Private Sub L1b_DblClick()
Picture2.Cls
Zoom_L1 = Zoom_L1 + 10
End Sub

Private Sub L2a_Click()
Picture2.Cls
Zoom_L2 = Zoom_L2 - 1
End Sub

Private Sub L2a_DblClick()
Picture2.Cls
Zoom_L2 = Zoom_L2 - 10
End Sub

Private Sub L2b_Click()
Picture2.Cls
Zoom_L2 = Zoom_L2 + 1
End Sub

Private Sub L2b_DblClick()
Picture2.Cls
Zoom_L2 = Zoom_L2 + 10
End Sub

```

```

Private Sub Label10_Click()
MSComm1.CommPort = VScroll6.Value
MSComm1.Settings = "9600,N,8,1"
MSComm1.PortOpen = True
End Sub

Private Sub Label25_Click()

Dim Fecha As Variant
Fecha = Date
Hora = Left$(Time, 10)
Dim Nombre_image1 As String
Nombre_image1 = "ESPECTRO" & "_" & Mid(Left$(Fecha, 10), 1, 2) & "_" & Mid(Left$(Fecha, 10), 4, 2) & "_" & Mid(Left$(Fecha,
10), 7, 4) & "_" & Mid(Left$(Hora, 10), 1, 2) & "-" & Mid(Left$(Hora, 10), 4, 2) & "-" & Mid(Left$(Hora, 10), 7, 2) & ".BMP"
SavePicture Picture2.Image, Nombre_image1

Nombre_image = " Se ha guardado la imagen con el nombre: " & Nombre_image1
MsgBox Nombre_image, vbInformation

'MsgBox(Mensaje, Estilo, Título, Ayuda, Ctxt)

End Sub

Private Sub Label32_Click()
Label38.Visible = True
Label32.Visible = False

Picture2.Picture = LoadPicture("fondo.bmp")
End Sub

Private Sub Label38_Click()
Label38.Visible = False
Label32.Visible = True

Picture2.Picture = LoadPicture("")
Picture2.Cls
' Picture2.Line (512 / 2, -3)-(512 / 2, 85)
End Sub

Private Sub Label74_Click()
Picture2.AutoRedraw = True
Picture2.Cls
If CONTADOR_CN < XMAX Then
'Dibujar V1
CONTADOR_CN = CONTADOR_CN + 1
Picture2.Line (YMIN, (XMAX * 0.75) + CONTADOR_CN)-(YMAX, (XMAX * 0.75) + CONTADOR_CN), vbRed
CURSOR_NIVEL = (XMAX * 0.75) + CONTADOR_CN
Label71.Caption = CURSOR_NIVEL
Label71.Left = XMAX / 2
Label71.Top = CURSOR_NIVEL + Label71.Height

End If
Picture2.AutoRedraw = False
End Sub

Private Sub Label75_Click()
Picture2.AutoRedraw = True
Picture2.Cls
If CONTADOR_CN < XMAX Then
'Dibujar V1
CONTADOR_CN = CONTADOR_CN - 1
Picture2.Line (YMIN, (XMAX * 0.75) + CONTADOR_CN)-(YMAX, (XMAX * 0.75) + CONTADOR_CN), vbRed
CURSOR_NIVEL = (XMAX * 0.75) + CONTADOR_CN
Label71.Caption = CURSOR_NIVEL
Label71.Left = XMAX / 2
Label71.Top = CURSOR_NIVEL + Label71.Height
End If
Picture2.AutoRedraw = False
End Sub

```

```

Private Sub Label76_Click()
Picture2.AutoRedraw = True
Picture2.Cls
If CONTADOR_CN1 > XMIN Then
'Dibujar V1
CONTADOR_CN1 = CONTADOR_CN1 + 1
Picture2.Line (YMIN, (XMAX * 0.25) - CONTADOR_CN1)-(YMAX, (XMAX * 0.25) - CONTADOR_CN1), vbRed

End If
Picture2.AutoRedraw = False
End Sub

Private Sub Label83_Click()
Frame3.Enabled = False
Frame3.Visible = False
End Sub

Private Sub Picture2_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, x As Single, y As Single)
'Esta parte es para pulsar con el raton sobre picture2 y el label 36 se mueve a la posición del cursos
'y muestra el valor de la frecuencia actual

Label36.Caption = CInt(y) & "," & " " & Int((((x * N_FFT) / (N_FFT / 2)) * (CAPTURA.FS / 2) / N_FFT)) & " Hz"

Label36.Left = x ' + Picture2.Left
Label36.Top = y + 5 ' + Picture2.Top '- dragy

'Mostrar valores de amplitud y Frecuencia encima del picture2
L_info_Y.Caption = CInt(y)
L_info_X.Caption = Int((((x * N_FFT) / (N_FFT / 2)) * (CAPTURA.FS / 2) / N_FFT)) / 1000 & " kHz"
End Sub

Private Sub Picture4_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, x As Single, y As Single)
'Esta parte es para pulsar con el raton sobre picture2 y el label 36 se mueve a la posición del cursos
'y muestra el valor de la frecuencia actual
'Text8.Text = X
'Text12.Text = Y
End Sub

Private Sub Form_Load()
GUARDAR_PANTALLA_COMPLETA = False
NIVEL_DETECTADO = False
VALOR_MHZ = 0
VALOR_KHZ = 0
VALOR_HZ = 0
STEEP_FRQ = 1
XMIN = -3
XMAX = 85
YMIN = 0
YMAX = N_FFT
CONTADOR_CN = 0
CONTADOR_CN1 = 0

CONTADO_KH = 0
CONTADO_MHZ = 0
AVG_LIN2 = False
ReDim Preserve TABLA_TRIGGER(0 To (N_FFT / 2))
Dim cn_i As Integer
For cn_i = 0 To (N_FFT / 2)
TABLA_TRIGGER(cn_i) = 0
Next cn_i

Dif_trigger = 0
Label68.Caption = Dif_trigger
TRIGGER = False
CONTADOR_DIBUJAR_LIN = 0
CONTADOR_AVG_LIN = 0
NUM_BUCLE_AVG_LIN = 1
Label67.Caption = NUM_BUCLE_AVG_LIN
Alpha = 0.125
Label66.Caption = Alpha
CAPTURA.PARAR_CAPTURA

```



```

frmProcess = GetCurrentProcess()
Call PRIORIDAD_SISTEMA(frmProcess, NORMAL_PRIORITY_CLASS)

CONTADOR_AVG_MAX = 0

'INICIALIZACIÓN NUMERO DE BUCLE DE PROMEDIO MB 03/05/2015
Label39.Caption = VScroll9.Value
AVG_BOUCLE = Val(Label39.Caption)

'mostrar valor de SPAN en picture2
min_SPAN.Caption = " 0 Hz"
max_SPAN.Caption = CSng((CAPTURA.FS / 2) / 1000) & " kHz "

'inicialización de valores para mostrar magnitud, potencia o potencia normalizada

Magnitud = False
Power_normalised = False
power = True

'inicializacion de variable Zoom_L1 y Zoom_L2 que se usan para hacer el zoom
Zoom_L1 = 0
Zoom_L2 = 0
Posicion_L1 = 0
Posicion_L2 = 0

'inicialización uso en teclado
Dim cont As Integer
For cont = 1 To 9
teclado(cont) = teclado(0)
Next

'inicializacion de los parametros
'promedio
AVERAGE = False
AVG_BOUCLE = 1
AVG_MAX = False
AVG_EXP = False
AVG_MAX_MEM = False

'obtener máximo en pantalla
OBTENER_MAX = False

'inicializacion se utiliza en CAPTURA para calcular la potencia normalizada en db (se debe dividir por X(m)max
MAXIMO_FFT = 1

'inicializar numero N FFT a 512
Combo8.AddItem 8
Combo8.AddItem 16
Combo8.AddItem 32
Combo8.AddItem 64
Combo8.AddItem 128
Combo8.AddItem 256
Combo8.AddItem 512
Combo8.AddItem 1024
Combo8.AddItem 2048
Combo8.AddItem 4096
Combo8.AddItem 8192
Combo8.AddItem 16384
Combo8.ListIndex = 6
N_FFT = CInt(Val((Combo8.List(Combo8.ListIndex))))
Label41.Caption = N_FFT
'inicialización de los posibles valores N_FFT

```

```

'inicializar valor compteur
compteur = 0
promedio = 0
ReDim Preserve TAB_Promedio(0 To (N_FFT / 2))
Dim C As Integer
For C = 1 To (N_FFT / 2)
TAB_Promedio(C) = 0
Next C

```

```

ReDim Preserve AVG_FFT(0 To N_FFT)
ReDim Preserve MAX_FFT(0 To (N_FFT))
ReDim Preserve POS_MAX(0 To (N_FFT))

```

```

ReDim Preserve YN(0 To N_FFT)
ReDim Preserve YN_1(0 To N_FFT)

```

```

Dim K As Integer
For K = 1 To (N_FFT)
AVG_FFT(K) = 1
MAX_FFT(K) = 0
POS_MAX(K) = 0
YN(K) = 0
YN_1(K) = 0
Next K
ii = 0 'usada para poner los máximos en picture 2

```

```

FS = 8000
Freq_Filtro = False
Aplicar_Filtro = False
Valor_Filtro = 3
FILTER_FRQ = 5
FILTER_BW = 3
'BUFFER_Duracion = 64
'MB 20/05/2015
BUFFER_Duracion = ((1000 / FS) * N_FFT)
Text5.Text = BUFFER_Duracion
NUM_MUESTRAS_PANTALLA = CInt(FS * BUFFER_Duracion / 1000)
Label73.Caption = NUM_MUESTRAS_PANTALLA

```

```

INICIALIZACION BUFFER_Duracion, FS, Freq_Filtro, Aplicar_Filtro, Valor_Filtro, FILTER_FRQ, FILTER_BW

```

```

PAQUETE = "K000000000000000000"
Text11.Text = Mid(PAQUETE, 3, 1) & "." & Mid(PAQUETE, 4, 3) & "." & Mid(PAQUETE, 7, 3) & "." & Mid(PAQUETE, 10, 3)
'Text3.Text = paquete
Label1.Caption = ""

```

```

'Dibujar una linea inicialización del picture 4 S-meter
With Picture4
.DrawWidth = 3
.AutoRedraw = True
.Cls
Picture4.Line (1200, 1300)-(120, 630), vbYellow
End With
'fin de inicializacion

```

```

Combo3.AddItem 2.8
Combo3.AddItem 6
Combo3.AddItem 15

```

```

Combo3.AddItem 50
Combo3.AddItem 230
Combo3.ListIndex = 0

'used for windowing election
Combo4.AddItem "cuadrada"
Combo4.AddItem "Hamming"
Combo4.AddItem "Blackman"
Combo4.AddItem "Blackman harris"
Combo4.AddItem "Triangular"
Combo4.AddItem "Kaiser"
Combo4.AddItem "Hanning"
Combo4.ListIndex = 0

'used for Filter election
Combo5.AddItem "PASO_BANDA"
Combo5.AddItem "PASO ALTA"
Combo5.AddItem "CORTA_BANDA"
Combo5.AddItem "pic-egaliseur"
Combo5.ListIndex = 3
CAPTURA.Valor_Filtro = 3

'used for Digital Filter BW
Combo6.AddItem 0.5
Combo6.AddItem 1
Combo6.AddItem 1.5
Combo6.AddItem 2
Combo6.AddItem 2.8
Combo6.AddItem 6
Combo6.AddItem 15
Combo6.AddItem 50
Combo6.AddItem 230
Combo6.ListIndex = 3
CAPTURA.FILTER_BW = 3

'used for Digital Filter Frq coupure
Combo7.AddItem 5
Combo7.AddItem 10
Combo7.AddItem 15
Combo7.ListIndex = 0
CAPTURA.FILTER_FRQ = 5

Dim Tsonido() As String
Dim i As Long

Combo1.Clear
For i = 1 To GetInDev(Tsonido())
    Combo1.AddItem Tsonido(i)
Next i
Combo1.Text = Tsonido(1)

Combo2.AddItem 8000
Combo2.AddItem 11025
Combo2.AddItem 16000
Combo2.AddItem 22050
Combo2.AddItem 32000
Combo2.AddItem 44100
Combo2.AddItem 48000
Combo2.AddItem 88200
Combo2.AddItem 96000
Combo2.AddItem 192000
Combo2.ListIndex = 5
CAPTURA.FS = CLng(Combo2.List(Combo2.ListIndex))

YAI = Timer1.Interval / CAPTURA.BUFFER_Duracion
LOI = -90.3

```

```

LAI = LOI
Picture1.Scale (-75, -1)-(-1, 1)
Picture1.AutoRedraw = True
'Picture1.Line (-75, 1)-(0, 0), vbYellow, BF
Picture1.Line (-75, 1)-(0, 0), &H8000000D, BF
For i = 0 To -72 Step -6
    Picture1.CurrentX = i - 1
    Picture1.CurrentY = -1.2
    Picture1.Print i
    Picture1.Line (i, 0)-(i, 1), vbBlack
Next i
Picture1.AutoRedraw = False
Set CopiaP = Picture1.Image
Set Picture1.Picture = CopiaP

Picture2.Scale (0, 85)-((N_FFT / 2), -3)
Y_Max.Text = 85
Picture5.Scale (0, 20)-((N_FFT / 2), -20)
'Picture5.Scale ((VScroll10.Value), (VScroll11.Value))-((VScroll12.Value), (VScroll13.Value))
' Form5.Picture5.Scale (0, 100)-((N_FFT / 2), -500)
' Form5.Picture5.Scale (0, 10000)-((N_FFT / 2), -10400)
Form5.Picture5.Scale (0, 0)-((N_FFT / 2), -400)

'Picture3.ScaleMode = 3

'Picture3.Scale (0, 0)-(512, 81)
For i = 0 To 500 'table couleur spectrogramme / elle est "empirique", inspirée par les couleurs communément utilisées
    If i < 250 Then
        TablaC(i) = RGB(i \ 2, 0, i \ 2)
    Else
        TablaC(i) = RGB(255, (i - 250), i \ 4)
    End If
Next i

'autres variables
TiempoPP = 600
HIM_VAR False

'debug, etc
Label5.Caption = CONVERSION_HORA_MIN_SEC(Timer)
Label4.Caption = "(fichero)"
Label2.Caption = "(datos escritos)"

CAPTURA.GUARDAR_CAPTURA = False

End Sub

'Cambiar Numero de puntos FFT
Private Sub Combo8_Click()

Label41.Caption = Combo8.List(Combo8.ListIndex)
N_FFT = CInt(Val((Combo8.List(Combo8.ListIndex))))
ReDim Preserve MAX_FFT(0 To (N_FFT))
ReDim Preserve AVG_FFT(0 To N_FFT)
ReDim Preserve POS_MAX(0 To N_FFT)

ReDim Preserve YN(0 To N_FFT)
ReDim Preserve YN_1(0 To N_FFT)
ReDim Preserve TABLA_TRIGGER(0 To (N_FFT / 2))
YMAX = N_FFT
Picture2.Scale (YMIN, XMAX)-((YMAX / 2), XMIN)
Y_Max.Text = 85

```

```

'MB 20/05/2015

If (FS > 0) Then
    BUFFER_Duracion = (1000 / CAPTURA.FS) * N_FFT

    NUM_MUESTRAS_PANTALLA = CInt(FS * BUFFER_Duracion / 1000)
    Text5.Text = BUFFER_Duracion
    Label73.Caption = NUM_MUESTRAS_PANTALLA

    PARAR_CAPTURA 'stoppe proprement l'écoute
    CAPTURA.INICIALIZACION BUFFER_Duracion, FS, True, True, Valor_Filtro, FILTER_FRQ, FILTER_BW
    CAPTURA.CAPTURAR False, CLng(Combo2.List(Combo2.ListIndex)), CAPTURA.Valor_Filtro, BUFFER_Duracion
End If
'FIN MB 20/05/2015
End Sub

Private Sub Power_N_Click()
    If (Power_N.Value = 1) Then
        Check_Magnitud.Value = 0
        Check_power.Value = 0
        Magnitud = False
        Power_normalised = True
        power = False
        Picture2.Scale (0, 1000)-((N_FFT / 2), -3)
        Label47.Visible = True
        Label47.Caption = "POTENCIA NORMALIZADA (dB)"
    End If
End Sub

Private Sub Quitar_Zoom_Click()
    Picture2.Scale (0, 85)-((N_FFT / 2), -3)
    Y_Max.Text = 85
    Aplicar_Zoom.Visible = True
    Quitar_Zoom.Visible = False
End Sub

Private Sub tecla0_Click()
    For i = 1 To 9
        teclado(i - 1) = teclado(i)
    Next

    teclado(9) = 0

    teclado_0.Caption = teclado(0)
    teclado_1.Caption = teclado(1)
    teclado_2.Caption = teclado(2)
    teclado_3.Caption = teclado(3)
    teclado_4.Caption = teclado(4)
    teclado_5.Caption = teclado(5)
    teclado_6.Caption = teclado(6)
    teclado_7.Caption = teclado(7)
    teclado_8.Caption = teclado(8)
    teclado_9.Caption = teclado(9)

    Text11.Text = (CStr(teclado_0.Caption)) & "." & (CStr(teclado_1.Caption & teclado_2.Caption & teclado_3.Caption)) & "." &
    (CStr(teclado_4.Caption & teclado_5.Caption & teclado_6.Caption)) & "." & (CStr(teclado_7.Caption & teclado_8.Caption &
    teclado_9.Caption))

    Command22.Enabled = True
End Sub

Private Sub tecla1_Click()
    For i = 1 To 9
        teclado(i - 1) = teclado(i)
    Next

    teclado(9) = 1

    teclado_0.Caption = teclado(0)
    teclado_1.Caption = teclado(1)

```

```

teclado_2.Caption = teclado(2)
teclado_3.Caption = teclado(3)
teclado_4.Caption = teclado(4)
teclado_5.Caption = teclado(5)
teclado_6.Caption = teclado(6)
teclado_7.Caption = teclado(7)
teclado_8.Caption = teclado(8)
teclado_9.Caption = teclado(9)

Text11.Text = (CStr(teclado_0.Caption)) & "." & (CStr(teclado_1.Caption & teclado_2.Caption & teclado_3.Caption)) & "." &
(CStr(teclado_4.Caption & teclado_5.Caption & teclado_6.Caption)) & "." & Val(CStr(teclado_7.Caption & teclado_8.Caption &
teclado_9.Caption))

Command22.Enabled = True
End Sub

Private Sub tecla2_Click()
Command22.Enabled = True
For i = 1 To 9
teclado(i - 1) = teclado(i)
Next

teclado(9) = 2

teclado_0.Caption = teclado(0)
teclado_1.Caption = teclado(1)
teclado_2.Caption = teclado(2)
teclado_3.Caption = teclado(3)
teclado_4.Caption = teclado(4)
teclado_5.Caption = teclado(5)
teclado_6.Caption = teclado(6)
teclado_7.Caption = teclado(7)
teclado_8.Caption = teclado(8)
teclado_9.Caption = teclado(9)

Text11.Text = (CStr(teclado_0.Caption)) & "." & Val(CStr(teclado_1.Caption & teclado_2.Caption & teclado_3.Caption)) & "." &
Val(CStr(teclado_4.Caption & teclado_5.Caption & teclado_6.Caption)) & "." & Val(CStr(teclado_7.Caption & teclado_8.Caption &
teclado_9.Caption))
End Sub

Private Sub tecla3_Click()
Command22.Enabled = True
For i = 1 To 9
teclado(i - 1) = teclado(i)
Next

teclado(9) = 3

teclado_0.Caption = teclado(0)
teclado_1.Caption = teclado(1)
teclado_2.Caption = teclado(2)
teclado_3.Caption = teclado(3)
teclado_4.Caption = teclado(4)
teclado_5.Caption = teclado(5)
teclado_6.Caption = teclado(6)
teclado_7.Caption = teclado(7)
teclado_8.Caption = teclado(8)
teclado_9.Caption = teclado(9)

Text11.Text = (CStr(teclado_0.Caption)) & "." & Val(CStr(teclado_1.Caption & teclado_2.Caption & teclado_3.Caption)) & "." &
Val(CStr(teclado_4.Caption & teclado_5.Caption & teclado_6.Caption)) & "." & Val(CStr(teclado_7.Caption & teclado_8.Caption &
teclado_9.Caption))
End Sub

Private Sub tecla4_Click()
Command22.Enabled = True
For i = 1 To 9
teclado(i - 1) = teclado(i)
Next

teclado(9) = 4

```

```

teclado_0.Caption = teclado(0)
teclado_1.Caption = teclado(1)
teclado_2.Caption = teclado(2)
teclado_3.Caption = teclado(3)
teclado_4.Caption = teclado(4)
teclado_5.Caption = teclado(5)
teclado_6.Caption = teclado(6)
teclado_7.Caption = teclado(7)
teclado_8.Caption = teclado(8)
teclado_9.Caption = teclado(9)

Text11.Text = (CStr(teclado_0.Caption)) & "." & Val(CStr(teclado_1.Caption & teclado_2.Caption & teclado_3.Caption)) & "." &
Val(CStr(teclado_4.Caption & teclado_5.Caption & teclado_6.Caption)) & "." & Val(CStr(teclado_7.Caption & teclado_8.Caption &
teclado_9.Caption))
End Sub

Private Sub tecla5_Click()
Command22.Enabled = True
For i = 1 To 9
teclado(i - 1) = teclado(i)
Next

teclado(9) = 5

teclado_0.Caption = teclado(0)
teclado_1.Caption = teclado(1)
teclado_2.Caption = teclado(2)
teclado_3.Caption = teclado(3)
teclado_4.Caption = teclado(4)
teclado_5.Caption = teclado(5)
teclado_6.Caption = teclado(6)
teclado_7.Caption = teclado(7)
teclado_8.Caption = teclado(8)
teclado_9.Caption = teclado(9)

Text11.Text = (CStr(teclado_0.Caption)) & "." & Val(CStr(teclado_1.Caption & teclado_2.Caption & teclado_3.Caption)) & "." &
Val(CStr(teclado_4.Caption & teclado_5.Caption & teclado_6.Caption)) & "." & Val(CStr(teclado_7.Caption & teclado_8.Caption &
teclado_9.Caption))
End Sub

Private Sub tecla6_Click()
Command22.Enabled = True
For i = 1 To 9
teclado(i - 1) = teclado(i)
Next

teclado(9) = 6

teclado_0.Caption = teclado(0)
teclado_1.Caption = teclado(1)
teclado_2.Caption = teclado(2)
teclado_3.Caption = teclado(3)
teclado_4.Caption = teclado(4)
teclado_5.Caption = teclado(5)
teclado_6.Caption = teclado(6)
teclado_7.Caption = teclado(7)
teclado_8.Caption = teclado(8)
teclado_9.Caption = teclado(9)

Text11.Text = (CStr(teclado_0.Caption)) & "." & Val(CStr(teclado_1.Caption & teclado_2.Caption & teclado_3.Caption)) & "." &
Val(CStr(teclado_4.Caption & teclado_5.Caption & teclado_6.Caption)) & "." & Val(CStr(teclado_7.Caption & teclado_8.Caption &
teclado_9.Caption))
End Sub

Private Sub tecla7_Click()
Command22.Enabled = True
For i = 1 To 9
teclado(i - 1) = teclado(i)
Next

```

teclado(9) = 7

```
teclado_0.Caption = teclado(0)
teclado_1.Caption = teclado(1)
teclado_2.Caption = teclado(2)
teclado_3.Caption = teclado(3)
teclado_4.Caption = teclado(4)
teclado_5.Caption = teclado(5)
teclado_6.Caption = teclado(6)
teclado_7.Caption = teclado(7)
teclado_8.Caption = teclado(8)
teclado_9.Caption = teclado(9)
```

```
Text11.Text = (CStr(teclado_0.Caption)) & "." & Val(CStr(teclado_1.Caption & teclado_2.Caption & teclado_3.Caption)) & "." &
Val(CStr(teclado_4.Caption & teclado_5.Caption & teclado_6.Caption)) & "." & Val(CStr(teclado_7.Caption & teclado_8.Caption &
teclado_9.Caption))
End Sub
```

```
Private Sub tecla8_Click()
Command22.Enabled = True
For i = 1 To 9
teclado(i - 1) = teclado(i)
Next
```

teclado(9) = 8

```
teclado_0.Caption = teclado(0)
teclado_1.Caption = teclado(1)
teclado_2.Caption = teclado(2)
teclado_3.Caption = teclado(3)
teclado_4.Caption = teclado(4)
teclado_5.Caption = teclado(5)
teclado_6.Caption = teclado(6)
teclado_7.Caption = teclado(7)
teclado_8.Caption = teclado(8)
teclado_9.Caption = teclado(9)
```

```
Text11.Text = (CStr(teclado_0.Caption)) & "." & Val(CStr(teclado_1.Caption & teclado_2.Caption & teclado_3.Caption)) & "." &
Val(CStr(teclado_4.Caption & teclado_5.Caption & teclado_6.Caption)) & "." & Val(CStr(teclado_7.Caption & teclado_8.Caption &
teclado_9.Caption))
End Sub
```

```
Private Sub tecla9_Click()
Command22.Enabled = True
For i = 1 To 9
teclado(i - 1) = teclado(i)
Next
```

teclado(9) = 9

```
teclado_0.Caption = teclado(0)
teclado_1.Caption = teclado(1)
teclado_2.Caption = teclado(2)
teclado_3.Caption = teclado(3)
teclado_4.Caption = teclado(4)
teclado_5.Caption = teclado(5)
teclado_6.Caption = teclado(6)
teclado_7.Caption = teclado(7)
teclado_8.Caption = teclado(8)
teclado_9.Caption = teclado(9)
```

```
Text11.Text = (CStr(teclado_0.Caption)) & "." & Val(CStr(teclado_1.Caption & teclado_2.Caption & teclado_3.Caption)) & "." &
Val(CStr(teclado_4.Caption & teclado_5.Caption & teclado_6.Caption)) & "." & Val(CStr(teclado_7.Caption & teclado_8.Caption &
teclado_9.Caption))
End Sub
```

```
Private Sub Timer1_Timer()
Dim GANANCIA As Double, VAR1 As Double
Dim i As Single, C As Long, p As Long, UPDATE As Boolean
```



```

Dim K As Integer
Dim R As Integer
Dim t As Integer
Dim L As Integer
Dim jj As Integer

UPDATE = Actualizar()

GANANCIA = GANANCIA

If Not UPDATE Then
    YOI = YOI + YAI
    VAR1 = LOI * YOI + LAI * (1 - YOI)
    If VAR1 > 0 Then VAR1 = 0
Else
    YOI = 0
    LAI = LOI
    LOI = GANANCIA
    VAR1 = LAI
End If

Picture1.Cls
Picture1.Line (0, 0)-(VAR1, 1), vbBlack, BF

If UPDATE Then
    RefreshCount = RefreshCount + 1
    p = (RefreshCount Mod REFRESH_UPDATE) = 0

    If p Then Label1.Caption = Format$(GANANCIA, "#00.00") & " dB"
    If Int(GANANCIA) = 0 Then
        Picture1.AutoRedraw = True
        Picture1.Line (0, 0)-(1, 1), vbRed, BF
        Picture1.AutoRedraw = False
        Label7.Visible = True
    Else
        Label7.Visible = False
    End If

    If Fichero Then
        If p Then Label2.Caption = Format$(DATOS_GRABADOS \ N_FFT, "# ### ##") & " ko"
        C = DateDiff("s", TiempoD, Now)
        If C Mod TiempoPP = 0 And VariableXC Then
            VariableXC = False

            IndiceN = IndiceN + 1

            Mid(NombreA, NombreO, NombreCH) = Format$(IndiceN, String$(NombreCH, "0"))
            AJUSTAR_NOMBRE NombreA
            Label4.Caption = Right$(NombreA, 18)
            ElseIf C Mod TiempoPP = 0 And Not VariableXC Then

            Else
                VariableXC = True
            End If

            If TiempoR <> C Then
                Label5.Caption = CONVERSION_HORA_MIN_SEC(C)
                TiempoR = C
            End If
        End If

        'ESPECTRO FFT
    If ACTIVAR_FFT Then
        'Se utiliza label 29 para mostrar el valor de la freq de muestreo en picture2
        Label29.Caption = CAPTURA.FS
    End If

```

```

Picture5.AutoRedraw = True
Picture5.Cls

Form5.Picture5.AutoRedraw = True
Form5.Picture5.Cls

If AVERAGE Then 'AVG LINEAL
    Dim TTT As Integer

    'MB 13/05/2015
    If CONTADOR_AVG_LIN <= NUM_BUCLE_AVG_LIN Then
        For t = 1 To (N_FFT / 2) 'Step 0.8
            'AVG_FFT(t) = (SPCTRUM_FFT(t) + AVG_FFT(t)) / 2
            'AVG_FFT(t) = Sqr(SPCTRUM_FFT(t)) * Sqr(AVG_FFT(t)) A probar despues
            AVG_FFT(t) = (SPCTRUM_FFT(t) + AVG_FFT(t))
            'Picture2.Line -(t, AVG_FFT(t)), &H8000000D 'color azul sistema

        Next t
        CONTADOR_AVG_LIN = CONTADOR_AVG_LIN + 1

    Else
        With Picture2 'MB 03/05/2015
            .AutoRedraw = True 'MB 03/05/2015
            .Cls 'MB 03/05/2015
        End With

        For TTT = 1 To (N_FFT / 2) 'Step 0.8
            AVG_FFT(TTT) = (AVG_FFT(TTT) / NUM_BUCLE_AVG_LIN) 'HACE LA MEDIA
            Picture2.Line -(TTT, AVG_FFT(TTT)), &H8000000D 'color azul sistema
        Next TTT
        CONTADOR_DIBUJAR_LIN = CONTADOR_DIBUJAR_LIN + 1 'SE UTILIZA PARA REFRESCAR EL DIBUJO CADA X TIEMPO

        CONTADOR_AVG_LIN = 0
        'If CONTADOR_DIBUJAR_LIN >= 2 Then
        'Picture2.Cls
        'CONTADOR_DIBUJAR_LIN = 0
        'End If
    End If
    'FIN MB 13/05/2015
Else

'MB 14/05/2015
If AVG_LIN2 Then
    AVG_STEP = CInt(N_FFT / N_STEP)
    For i = 0 To i <= N_STEP
        For J = 0 To AVG_STEP
            Dim OFFSET_AVG As Integer
            OFFSET_AVG = J + i * AVG_STEP
            If OFFSET_AVG < N_FFT Then
                AVG_CALC_LIN2 = AVG_CALC_LIN2 + SPCTRUM_FFT(OFFSET_AVG)
            End If
        Next J

        AVG_CALC_LIN2 = AVG_CALC_LIN2 / J

    Next i

Else
    'FIN MB 14/05/2015

If AVG_MAX Then
    CONTADOR_AVG_MAX = CONTADOR_AVG_MAX + 1 'MB 12/05/2015 PARA REFRESCAR LOS MAXIMOS DESPUES DE UN BUCLE

    With Picture2 'MB 03/05/2015
        .AutoRedraw = True 'MB 03/05/2015
        .Cls 'MB 03/05/2015
    End With
    If CONTADOR_AVG_MAX < VScroll8.Value Then 'MB 12/05/2015 PARA REFRESCAR LOS MAXIMOS DESPUES DE UN BUCLE
        For i = 1 To (N_FFT / 2) 'Step 0.8
            'Picture2.Line -(i, SPCTRUM_FFT(i)), &H8000000D 'color azul sistema

```

```

'busca del máximo
If SPCTRUM_FFT(i) > MAX_FFT(i) Then

    MAX_FFT(i) = SPCTRUM_FFT(i)

    Picture2.Line -(i, MAX_FFT(i)), &H8000000D 'color azul sistema
    If Picture5.Visible = True Then
        Picture5.Line -(i, SENAL(i)), &HFFFF& 'color amarillo
    End If
    ' Form5.Picture5.Line -(i, SENAL(i)), &HFFFF& 'color amarillo
    'Picture5.PSet (t, SENAL(t)), &HFFFF& 'color amarillo
Else
    Picture2.Line -(i, MAX_FFT(i)), &H8000000D 'color azul sistema
    If Picture5.Visible = True Then
        Picture5.Line -(i, SENAL(i)), &HFFFF& 'color amarillo
    End If
    Form5.Picture5.Line -(i, SENAL(i)), &HFFFF& 'color amarillo
End If
Next i

Else 'MB 12/05/2015 PARA REFRESCAR LOS MAXIMOS DESPUES DE UN BUCLE
Dim iii As Integer
For iii = 1 To (N_FFT / 2) 'Step 0.8
    MAX_FFT(iii) = SPCTRUM_FFT(iii)
    Picture2.Line -(iii, MAX_FFT(iii)), &H8000000D 'color azul sistema
    CONTADOR_AVG_MAX = 0
Next iii
End If
Else

'MB 20/05/2015
If AVG_MAX_MEM Then
    With Picture2 'MB 03/05/2015
        .AutoRedraw = True 'MB 03/05/2015
        .Cls 'MB 03/05/2015
    End With

    For i = 1 To (N_FFT / 2) 'Step 0.8
        'Picture2.Line -(i, SPCTRUM_FFT(i)), &H8000000D 'color azul sistema
        'busca del máximo
        If SPCTRUM_FFT(i) > MAX_FFT(i) Then
            MAX_FFT(i) = SPCTRUM_FFT(i)
            Picture2.Line -(i, MAX_FFT(i)), &H8000000D 'color azul sistema
            If Picture5.Visible = True Then
                Picture5.Line -(i, SENAL(i)), &HFFFF& 'color amarillo
            End If
        Else
            Picture2.Line -(i, MAX_FFT(i)), &H8000000D 'color azul sistema
            If Picture5.Visible = True Then
                Picture5.Line -(i, SENAL(i)), &HFFFF& 'color amarillo
                Form5.Picture5.Line -(i, SENAL(i)), &HFFFF& 'color amarillo
            End If
        End If
    Next i
Else
'MB 20/05/2015

If AVG_EXP Then
    With Picture2 'MB 03/05/2015
        .AutoRedraw = True 'MB 03/05/2015
        .Cls 'MB 03/05/2015
    End With
    For i = 1 To (N_FFT / 2)
        'YN AVG calculado
        'YN_1 AVG anterior (inicialmente se inicializa por zeros)

        YN(i) = YN_1(i) + Alpha * (SPCTRUM_FFT(i) - YN_1(i))

        Picture2.Line -(i, YN(i)), &H8000000D 'color azul sistema
        Picture5.Line -(i, SENAL(i)), &HFFFF& 'color amarillo
    Next i
End If

```

```

Form5.Picture5.Line -(i, SENAL(i)), &HFFFF& 'color amarillo

YN_1(i) = YN(i)

Next i

'MB 13/05/2013 PRUEBA TRIGGER
Else
If TRIGGER = True Then

With Picture2
.AutoRedraw = True
.Cls
.Picture = LoadPicture("Fondo_FFT.jpg")
End With
For i = 0 To ((N_FFT / 2) - 1)
If Abs((SPCTRUM_FFT(i) - TABLA_TRIGGER(i))) > Dif_trigger Then

'copy valorer en trigger
TABLA_TRIGGER(i) = SPCTRUM_FFT(i)

Else

End If
Picture2.Line -(i, TABLA_TRIGGER(i)), &HFFFF&
Next i

'END MB 13/05/2015

Else 'sin ningun AVERAGE
With Picture2
.AutoRedraw = True
.Cls
.Picture = LoadPicture("Fondo_FFT.jpg")
End With
For i = 1 To ((N_FFT / 2)) 'Step 0.8
'For i = (Form4.bucle) * (N_FFT / 2) To ((Form4.bucle) + 1) * (N_FFT / 2) 'Step 0.8
'Picture2.Line (i, SPCTRUM_FFT(i - (Form4.bucle) * (N_FFT / 2)))-(i + 1, SPCTRUM_FFT(i - (Form4.bucle) * (N_FFT / 2) + 1)),
&H8000000D 'color azul sistema
Picture2.Line (YMIN, (XMAX * 0.75) + CONTADOR_CN)-(YMAX, (XMAX * 0.75) + CONTADOR_CN), vbRed
Picture2.Line (i, SPCTRUM_FFT(i))-(i + 1, SPCTRUM_FFT(i + 1)), &HFFFF&

'-----
'PARA GUEARDAR LA IMAGEN EN CASO DE SUPERAR NIVEL DE DISPARO
'-----

'MB 31/05/2015 : EN CASO DE SUPERAR EL NIVEL DE DISPARO GUARDAR IMAGEN
If SPCTRUM_FFT(i) > CURSOR_NIVEL Then
NIVEL_DETECTADO = True
Dim Fecha As Variant
Dim Hora As Variant
Fecha = Date
Hora = Left$(Time, 10)
Dim Nombre_image1 As String
Nombre_image1 = "ESPECTRO" & "_" & Mid(Left$(Fecha, 10), 1, 2) & "_" & Mid(Left$(Fecha, 10), 4, 2) & "_" &
Mid(Left$(Fecha, 10), 7, 4) & "_" & Mid(Left$(Hora, 10), 1, 2) & "-" & Mid(Left$(Hora, 10), 4, 2) & "-" & Mid(Left$(Hora, 10), 7, 2) &
".BMP"

End If
If (NIVEL_DETECTADO) And (i > ((N_FFT / 2) - 1)) Then ' PARA GUERADAR LA IMAGEN ENTERA : ESPERAR A DIBUJAR
DESDE i=1 TO N_FFT Y
'CUANDO LLEGAMOS GUEARDA LA IMAGEN

If (GUARDAR_PANTALLA_COMPLETA = True) Then

'++++++
+++++

```

```

'MB 31/05/2015: GUARDAR IMAGEN DE LA PANTALLA ENTERA
Form7.Visible = True
Form7.WindowState = vbMinimized

Dim VAR2 As Long
VAR2 = GetDesktopWindow

Dim VAR3 As Long
VAR3 = GetDC(VAR2)

Dim ANCHO_PANTALLA As Long, LARGO_PANTALLA As Long
ANCHO_PANTALLA = Screen.Width \ Screen.TwipsPerPixelX
LARGO_PANTALLA = Screen.Height \ Screen.TwipsPerPixelY

BitBlt Form7.hDC, 0, 0, ANCHO_PANTALLA, LARGO_PANTALLA, VAR3, 0, 0, vbSrcCopy

ReleaseDC VAR2, VAR3
Form7.Picture = Form7.Image

'Dim Fecha As Variant
'Fecha = Date
'Hora = Left$(Time, 10)
'Dim Nombre_image1 As String
Nombre_image1 = "ESPECTRO" & "_" & Mid(Left$(Fecha, 10), 1, 2) & "_" & Mid(Left$(Fecha, 10), 4, 2) & "_" &
Mid(Left$(Fecha, 10), 7, 4) & "_" & Mid(Left$(Hora, 10), 1, 2) & "-" & Mid(Left$(Hora, 10), 4, 2) & "-" & Mid(Left$(Hora, 10), 7, 2) &
".BMP"
SavePicture Form7.Image, Nombre_image1
'Beep
'MsgBox Nombre_image1, vbInformation
Form7.Visible = False
'FIN MB 31/05/2015: GUARDAR IMAGEN DE LA PANTALLA ENTERA

'+++++
+++++
Else
    SavePicture Picture2.Image, Nombre_image1
End If

'MsgBox Nombre_image1, vbInformation
'Beep
NIVEL_DETECTADO = False
End If
'FIN MB 31/05/2015
'-----

'Picture5.Line -(i, SENAL(i)), &HFFFF& 'color amarillo
Form5.Picture5.Line -(i, (SENAL(i))), &HFFFF& 'color amarillo 90 es el ajuste a añadir para corregir el error del ofset
que presenta la tarjeta de sonido

Next i
End If
End If
End If
End If
End If

'obtener los máximos y ordenarlos en una tabla
If OBTENER_MAX Then
    Dim tt As Integer
    If compteur >= AVG_BOUCLE Then 'numero de bucles del promediado

        promedio = promedio / AVG_BOUCLE

```

```

Label53.Caption = promedio
'para poder tener un valor que se puede visualizar en la pantalla se hace un promedio de 50 medidas.
  For tt = 1 To (N_FFT / 2) ' prueba promedio
    TAB_Promedio(tt) = (TAB_Promedio(tt) / AVG_BOUCLE)
  ' Picture2.Line -(tt, TAB_Promedio(tt)), &H8000000D ' prueba promedio

  Next tt ' prueba promedio
'MB 03/05/2015
  Dim pp As Integer
  pp = 1
  For jj = 1 To ii 'ii es el numero de maximos que queremos representar en la picture2
    Picture2.Line (POS_MAX(pp), MAX_FFT(pp))-((POS_MAX(pp) + 2), (MAX_FFT(pp) + 2), &HFFFF&, BF
    Me.Picture2.CurrentX = POS_MAX(pp) 'posición en puntos donde esta el maximo
    Me.Picture2.CurrentY = MAX_FFT(pp) + 5
    Me.Picture2.Print CStr(jj)
    If jj = 1 Then
      Label61.Caption = MAX_FFT(pp)
    End If
    If jj = 2 Then
      Label62.Caption = MAX_FFT(pp)
    End If
    If jj = 3 Then
      Label63.Caption = MAX_FFT(pp)
    End If
    If jj = 4 Then
      Label64.Caption = MAX_FFT(pp)
    End If
  'para mostrar valor de amplitud max y freq max en label 21/01/2014
  Label53.Caption = MAX_FFT(jj)
  promedio = promedio + MAX_FFT(jj)
  Label55.Caption = Int(POS_MAX(jj) * ((CAPTURA.FS) / N_FFT)) & " Hz" 'Frecuencia donde esta el máximo
  pp = pp + 13
  Next jj
'FIN MB 03/05/2015
compteur = 0

Else
  For i = 1 To (N_FFT / 2)
    TAB_Promedio(i) = (TAB_Promedio(i) + SPECTRUM_FFT(i)) ' prueba promedio
    MAX_FFT(i) = SPECTRUM_FFT(i)
    valor = MAX_FFT(i)
    POS = i
    ' Picture2.Line -(i, SPECTRUM_FFT(i)), &H8000000D 'color azul sistema
    Picture5.Line -(i, SENAL(i)), &HFFFF& 'color amarillo

    ' Form5.Picture5.Line -(i, SENAL(i)), &HFFFF&

  For L = (i + 1) To ((N_FFT / 2) - 1)
    If (MAX_FFT(L) > valor) Then
      valor = MAX_FFT(L)
      POS = L
    End If
  Next L
  MAX_FFT(POS) = MAX_FFT(i)
  MAX_FFT(i) = valor
  MAXIMO_FFT = valor
  'Label51.Caption = MAXIMO_FFT
  POS_MAX(i) = POS
Next i
'
' Dim pp As Integer
' pp = 1
' For jj = 1 To ii 'ii es el numero de maximos que queremos representar en la picture2

  'Picture2.Line (POS_MAX(pp), MAX_FFT(pp))-((POS_MAX(pp) + 2), (MAX_FFT(pp) + 2), &HFFFF&, BF
  'Me.Picture2.CurrentX = POS_MAX(pp) 'posición en puntos donde esta el maximo
  'Me.Picture2.CurrentY = MAX_FFT(pp) + 5

  '
  Me.Picture2.Print CStr(jj)
  'para mostrar valor de amplitud max y freq max en label 21/01/2014
  'Label53.Caption = MAX_FFT(jj)
  '
  promedio = promedio + MAX_FFT(jj)

```

```

' Label55.Caption = Int(POS_MAX(jj) * ((CAPTURA.FS) / N_FFT)) & " Hz" 'Frecuencia donde esta el máximo
' pp = pp + 13
' Next jj
'   compteur = compteur + 1
'   Label51.Caption = compteur
' End If
' End If

End If

' End With
Picture5.AutoRedraw = False
Form5.Picture5.AutoRedraw = False

End If 'fin update

End Sub
Private Function NUEVA_GRABACION(NOMBRE_FICHERO As String) As String

Dim p As Long, t As Long, i As Long

If LCase$(Right$(NOMBRE_FICHERO, 4)) <> ".wav" Then
If InStrRev(NOMBRE_FICHERO, ".") = Len(NOMBRE_FICHERO) - 3 Then

NombreB = Mid$(NombreB, 1, Len(NOMBRE_FICHERO) - 4) & ".wav"
Else

NombreB = NOMBRE_FICHERO & ".wav"
End If
Else
NombreB = NOMBRE_FICHERO
End If

p = InStr(1, NOMBRE_FICHERO, "#", vbBinaryCompare)
t = InStrRev(NOMBRE_FICHERO, "#", , vbBinaryCompare) - p + 1
If p = 0 Then
NUEVA_GRABACION = "Nom invariant !!"

TiempoPP = 2147483640 \ CLng(Combo2.List(Combo2.ListIndex)) * 2
NombreA = NombreB
Exit Function
End If

NombreA = NombreB
NombreO = p
NombreCH = t
IndiceN = 1
VariableXC = False

Do
Mid(NombreA, NombreO, NombreCH) = Format$(IndiceN, String$(NombreCH, "0"))
If Dir(NombreA, vbNormal) = "" Then Exit Do
IndiceN = IndiceN + 1
Loop

NUEVA_GRABACION = NombreA

End Function

Private Function CONVERSION_HORA_MIN_SEC(ByVal S As Long) As String

Dim i As Long, h As Long, m As Long
Dim VAR5(1 To 8) As Byte

VAR5(3) = 58 ' ":"

```

```

VAR5(6) = 58

m = S \ 60
S = S - m * 60
h = m \ 60
m = m - h * 60

i = S \ 10
VAR5(8) = 48 + (S - i * 10)
VAR5(7) = 48 + i

i = m \ 10
VAR5(5) = 48 + (m - i * 10)
VAR5(4) = 48 + i

i = h \ 10
VAR5(2) = 48 + (h - i * 10)
VAR5(1) = 48 + i

CONVERSION_HORA_MIN_SEC = StrConv(VAR5(), vbUnicode)

End Function

Private Sub HIM_VAR(ByVal sr As Boolean)

    With Label6
    If sr Then
        .BackColor = RGB(255, 16, 16)
        .Caption = "Enregistre"
    Else
        .BackColor = RGB(16, 255, 16)
        .Caption = "Standby"
    End If
    End With

End Sub

' ABRIR VENTANA NUEVA (FORM4) PARA EL MODO ESCANEEO AUTOMÁTICO
Private Sub Auto_Escaneo_Click()
Escaneo_auto = True
Form4.Visible = True
Form4.Frame3.Visible = True
Form4.Width = Form4.Frame3.Width
Form4.Height = Form4.Frame3.Height
Form4.Caption = "MODO ESCANEEO AUTOMÁTICO"
End Sub

Private Sub Combo4_Click()
Dim Ventana1 As String
Dim valor_window As Long

Ventana1 = CStr(Combo4.List(Combo4.ListIndex))
Text4.Text = Ventana1

If Ventana1 = "Kaiser" Then
    valor_window = 10
    CAPTURA.CALCULAR_VENTANA valor_window
Else
    valor_window = Combo4.ListIndex
    CAPTURA.CALCULAR_VENTANA valor_window
End If

End Sub

Private Sub Combo5_Click() 'A VERIFICAR

PARAR_CAPTURA 'PARAR CAPTURA
CAPTURA.Filtrado = True
Aplicar_Filtro = True
Dim Valor_Filtro As Double
Valor_Filtro = Combo5.ListIndex

```



```
INICIALIZACION BUFFER_Duracion, FS, Freq_Filtro, Aplicar_Filtro, Valor_Filtro, FILTER_FRQ, FILTER_BW
```

```
CAPTURA.CAPTURAR False, CAPTURA.FS, Valor_Filtro, BUFFER_Duracion
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Combo6_Click()  
Dim FILTER_BW As Double  
PARAR_CAPTURA 'stoppe proprement l'écoute  
Aplicar_Filtro = True  
FILTER_BW = Combo6.List(Combo6.ListIndex)  
INICIALIZACION BUFFER_Duracion, FS, Freq_Filtro, Aplicar_Filtro, Valor_Filtro, FILTER_FRQ, FILTER_BW  
'Text27.Text = CAPTURA.FILTER_BW  
CAPTURA.CAPTURAR False, CAPTURA.FS, CAPTURA.Valor_Filtro, BUFFER_Duracion
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Combo7_Click()  
Dim FILTER_FRQ As Double  
PARAR_CAPTURA 'stoppe proprement l'écoute  
FILTER_FRQ = Combo7.List(Combo7.ListIndex)
```

```
INICIALIZACION BUFFER_Duracion, FS, Freq_Filtro, Aplicar_Filtro, Valor_Filtro, FILTER_FRQ, FILTER_BW
```

```
CAPTURA.CAPTURAR False, CAPTURA.FS, CAPTURA.Valor_Filtro, BUFFER_Duracion
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command69_Click()  
Data1.Recordset.AddNew 'crea una tabla nueva  
End Sub
```

```
Private Sub Command71_Click()  
Mid(PAQUETE, 13, 2) = "05"
```

```
MSComm1.Output = PAQUETE & Chr$(13) & Chr$(10)
```

```
Command71.BackColor = &HFF&  
Command9.BackColor = &H8000000D  
Command72.BackColor = &H8000000D  
Command73.BackColor = &H8000000D  
Command74.BackColor = &H8000000D  
Command75.BackColor = &H8000000D
```

```
Modo = "FM" 'uso para base de datos  
End Sub
```

```
Private Sub Command72_Click()  
Mid(PAQUETE, 13, 2) = "03"
```

```
MSComm1.Output = PAQUETE & Chr$(13) & Chr$(10)
```

```
Command72.BackColor = &HFF&  
Command71.BackColor = &H8000000D  
Command9.BackColor = &H8000000D  
Command73.BackColor = &H8000000D  
Command74.BackColor = &H8000000D  
Command75.BackColor = &H8000000D
```

```
Modo = "CW" 'uso para base de datos  
End Sub
```

```
Private Sub Command73_Click()  
Mid(PAQUETE, 13, 2) = "02"
```

```
MSComm1.Output = PAQUETE & Chr$(13) & Chr$(10)
```

```
Command73.BackColor = &HFF&  
Command71.BackColor = &H8000000D  
Command72.BackColor = &H8000000D
```

```

Command9.BackColor = &H8000000D
Command74.BackColor = &H8000000D
Command75.BackColor = &H8000000D
Modo = "AM" 'uso para base de datos
End Sub

Private Sub Command74_Click()
Mid(PAQUETE, 13, 2) = "01"

MSComm1.Output = PAQUETE & Chr$(13) & Chr$(10)

Command74.BackColor = &HFF&
Command71.BackColor = &H8000000D
Command72.BackColor = &H8000000D
Command73.BackColor = &H8000000D
Command9.BackColor = &H8000000D
Command75.BackColor = &H8000000D

Modo = "USB" 'uso para base de datos
End Sub

Private Sub Command75_Click()
Mid(PAQUETE, 13, 2) = "00"

MSComm1.Output = PAQUETE & Chr$(13) & Chr$(10)

Command75.BackColor = &HFF&
Command71.BackColor = &H8000000D
Command72.BackColor = &H8000000D
Command73.BackColor = &H8000000D
Command74.BackColor = &H8000000D
Command9.BackColor = &H8000000D

Modo = "LSB" 'uso para base de datos
End Sub

Private Sub Command77_Click()

Label9.Caption = ""
Label11.Caption = ""
Label10.Caption = 500
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0000500000" & "03 00 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 2,8 kHz"

Command8.BackColor = &HFF&
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

End Sub

Private Sub Text14_Change()
Picture1.CurrentX = varx
Picture1.CurrentY = vary
Picture1.Print Text14.Text
End Sub

Private Sub Command9_Click()

```

```

Mid(PAQUETE, 13, 2) = "06"

MSComm1.Output = PAQUETE & Chr$(13) & Chr$(10)

Command9.BackColor = &HFF&
Command71.BackColor = &H8000000D
Command72.BackColor = &H8000000D
Command73.BackColor = &H8000000D
Command74.BackColor = &H8000000D
Command75.BackColor = &H8000000D

Modo = "WFM"
End Sub

Private Sub INICIO_CAPURA_Click()

If INICIO_CAPURA.Value = 1 Then
    frmProcess = GetCurrentProcess()
    Call PRIORIDAD_SISTEMA(frmProcess, HIGH_PRIORITY_CLASS)
    'inicializar la captura
    If CAPTURAR(CBool(0), CAPTURA.FS, CAPTURA.Valor_Filtro, BUFFER_Duracion) Then 'inicializar la captura
        'INICIO_CAPURA.Value = False
        'Exit Sub

        Timer1.Enabled = True
        Check17.Enabled = True
        Combo1.Enabled = False
        With Picture2
            Set .Picture = Nothing
            .AutoRedraw = True
        End With
        .Cls
        End With

    End If

Else

    Timer1.Enabled = False
    CAPTURA.PARAR_CAPTURA 'PARAR CAPTURA
    Aplicar_Filtro = False
    frmProcess = GetCurrentProcess()
    Call PRIORIDAD_SISTEMA(frmProcess, NORMAL_PRIORITY_CLASS)

    Check17.Enabled = False
    Combo1.Enabled = True
    Combo2.Enabled = True

    'para borrar la table del MAX y AVG
    Dim K As Integer
    For K = 1 To (N_FFT)
        AVG_FFT(K) = 0
        MAX_FFT(K) = 0
    Next K

    Label44.Visible = False
    Label45.Visible = False
    Label59.Visible = False
    Label60.Visible = False
    Label61.Visible = False
    Label62.Visible = False
    Label63.Visible = False
    Label64.Visible = False
    End If

End Sub

Private Sub Check17_Click() 'GRABAR

If Check17.Value = 1 Then
    Fichero = False

```

```

TiempoD = Now

Label4.Caption = NUEVA_GRABACION(Text14.Text)
If NombreA = "" Then
    Check17.Value = 0
    Exit Sub
End If

AJUSTAR_NOMBRE NombreA
Fichero = True
HIM_VAR True
Text14.Enabled = False
Else
    Fichero = False
    HIM_VAR False
    Text14.Enabled = True
End If

End Sub

Private Sub ESPECTRO_Click()

    ACTIVAR_FFT = CBool(ESPECTRO.Value)

End Sub

Private Sub Check4_Click()
    If (CBool(Check4.Value)) Then
        MSComm1.Output = "J4501" & Chr$(13) & Chr$(10) 'AGC ON
    Else
        MSComm1.Output = "J4500" & Chr$(13) & Chr$(10) 'AGC OFF
    End If
End Sub

Private Sub Combo1_Click()
    VU_Device = Combo1.ListIndex

End Sub

Private Sub Combo2_Click()
'Dim FS As Long
'CAPTURA.ACTUALIZAR
PARAR_CAPTURA 'stoppe proprement l'écoute
CAPTURA.Freq_Filtro = True
CAPTURA.FS = CLng(Combo2.List(Combo2.ListIndex))
CAPTURA.CAPTURAR False, CLng(Combo2.List(Combo2.ListIndex)), CAPTURA.Valor_Filtro, BUFFER_Duracion

min_SPAN.Caption = " 0 Hz"
max_SPAN.Caption = CSng((CAPTURA.FS / 2) / 1000) & " kHz "

'MB 20/05/2015

If (FS > 0) Then
    BUFFER_Duracion = ((1000 / CAPTURA.FS) * N_FFT)
    Text5.Text = BUFFER_Duracion
    NUM_MUESTRAS_PANTALLA = CInt(FS * BUFFER_Duracion / 1000)
    Label73.Caption = NUM_MUESTRAS_PANTALLA

'PARAR_CAPTURA 'stoppe proprement l'écoute
'CAPTURA.INICIALIZACION BUFFER_Duracion, FS, True, True, Valor_Filtro, FILTER_FRQ, FILTER_BW
'CAPTURA.CAPTURAR False, CLng(Combo2.List(Combo2.ListIndex)), CAPTURA.Valor_Filtro, BUFFER_Duracion
End If
'FIN MB 20/05/2015

End Sub

```

```

Private Sub Combo3_Click()

Ancho_banda = Combo3.List(Combo3.ListIndex)

If MSComm1.PortOpen = True Then
    Select Case Ancho_banda
    Case 2.8
        Mid(PAQUETE, 15, 2) = "00"

        MSComm1.Output = PAQUETE & Chr$(13) & Chr$(10)
    Case 6
        Mid(PAQUETE, 15, 2) = "01"

        MSComm1.Output = PAQUETE & Chr$(13) & Chr$(10)
    Case 15
        Mid(PAQUETE, 15, 2) = "02"

        MSComm1.Output = PAQUETE & Chr$(13) & Chr$(10)
    Case 50
        Mid(PAQUETE, 15, 2) = "03"

        MSComm1.Output = PAQUETE & Chr$(13) & Chr$(10)
    Case 230
        Mid(PAQUETE, 15, 2) = "04"

        MSComm1.Output = PAQUETE & Chr$(13) & Chr$(10)
    End If

'a = Combo3.ListIndex
'MSComm1.Output = "K0" & "0" & ("000" + VScroll1.Value) & "000000" & "06" & "0" & (Combo3.ListIndex) & "00" & Chr$(13) & Chr$(10)
'Text3.Text = "K0" & "0" & ("000" + VScroll1.Value) & "000000" & "06" & "0" & (Combo3.ListIndex) & "00" & Chr$(13) & Chr$(10)
End Select
End If
End Sub

Private Sub Command1_Click()
    Shell "sndvol32 -R -D " & Combo1.ListIndex, vbNormalFocus
End Sub

'Private Sub Command10_Click()
'Label9.Caption = ""
'Label11.Caption = ""
'Label10.Caption = 518
'Text2.Text = ""
'MSComm1.Output = "K0" & "0000518000" & "03 00 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
'Text4.Text = " filtro ancho de banda 2,8 kHz"

'Command8.BackColor = &H8000000F
'Command10.BackColor = &HFF&
'Command11.BackColor = &H8000000F
'Command12.BackColor = &H8000000F
'Command15.BackColor = &H8000000F
'Command14.BackColor = &H8000000F
'Command13.BackColor = &H8000000F
'Command51.BackColor = &H8000000F
'Command57.BackColor = &H8000000F
'Command63.BackColor = &H8000000F

'End Sub

'Private Sub Command11_Click()
'Label10.Caption = 182
'Label9.Caption = 2
'Label11.Caption = ""
'Text2.Text = ""
'MSComm1.Output = "K0" & "0002182000" & "01 00 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
'Text4.Text = " filtro ancho de banda 2,8 kHz"

```

```

'Command11.BackColor = &HFF&
'Command8.BackColor = &H8000000F
'Command10.BackColor = &H8000000F
'Command12.BackColor = &H8000000F
'Command15.BackColor = &H8000000F
'Command14.BackColor = &H8000000F
'Command13.BackColor = &H8000000F
'Command51.BackColor = &H8000000F
'Command57.BackColor = &H8000000F
'Command63.BackColor = &H8000000F

'End Sub

Private Sub Command12_Click()
MSComm1.CommPort = VScroll6.Value
MSComm1.Settings = "9600,N,8,1"
MSComm1.PortOpen = True

End Sub

Private Sub Command13_Click()
'156,8 FM filtro 2,8 kHz

Label10.Caption = 800
Label9.Caption = 156
Label11.Caption = ""
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0156800000" & "05 00 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 2,8 kHz"

Command13.BackColor = &HFF&
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

End Sub

Private Sub Command14_Click()
'156,525 FM filtro 2,8 kHz

Label10.Caption = 525
Label9.Caption = 156
Label11.Caption = ""
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0156525000" & "05 00 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 2,8 kHz"

Command14.BackColor = &HFF&
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

End Sub

Private Sub Command15_Click()
'121,5 AM filtro 2,8 kHz

Label10.Caption = 500
Label9.Caption = 121

```

```

Label11.Caption = ""
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0121500000" & "02 00 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 2,8 kHz"

```

```

Command15.BackColor = &HFF&
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

```

End Sub

```

Private Sub Command16_Click()
Label10.Caption = 500
Label9.Caption = ""
Label11.Caption = ""

```

```

Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0000500000" & "03 00 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 2,8 kHz"

```

```

Command8.BackColor = &HFF&
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

```

End Sub

```

Private Sub Command17_Click()
Label10.Caption = 500
Label9.Caption = ""
Label11.Caption = ""
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0000500000" & "03 01 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 6 kHz"

```

```

Command8.BackColor = &HFF&
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

```

End Sub

```

Private Sub Command18_Click()
Label10.Caption = 500
Label9.Caption = ""
Label11.Caption = ""

```

```

Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0000500000" & "03 02 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 15 kHz"

```

```

Command8.BackColor = &HFF&

```

```

Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

End Sub

Private Sub Command19_Click()
Label10.Caption = 500
Label9.Caption = ""
Label11.Caption = ""

Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0000500000" & "03 03 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 50 kHz"

Command8.BackColor = &HFF&
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

End Sub

Private Sub Command20_Click()
Label10.Caption = 500
Label9.Caption = ""
Label11.Caption = ""

Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0000500000" & "03 04 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 230 kHz"

Command8.BackColor = &HFF&
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

End Sub

Private Sub Command21_Click()
Label10.Caption = 518
Label9.Caption = ""
Label11.Caption = ""
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0000518000" & "03 00 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 2,8 kHz"

Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &HFF&
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F

```



```

Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

```

```

End Sub

```

```

Private Sub Command22_Click()
Dim i As Integer
For i = 1 To 9
teclado(i) = 0
Next
teclado_0.Caption = teclado(0)
teclado_1.Caption = teclado(1)
teclado_2.Caption = teclado(2)
teclado_3.Caption = teclado(3)
teclado_4.Caption = teclado(4)
teclado_5.Caption = teclado(5)
teclado_6.Caption = teclado(6)
teclado_7.Caption = teclado(7)
teclado_8.Caption = teclado(8)
teclado_9.Caption = teclado(9)

```

```

VScroll1.Value = 0
VScroll2.Value = 0
VScroll3.Value = 0
VScroll5.Value = 0
Text11.Text = "0.000.000.000"
End Sub

```

```

Private Sub Command23_Click()
Label10.Caption = 518
Label9.Caption = ""
Label11.Caption = ""

```

```

Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0000518000" & "03 02 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 15 kHz"

```

```

Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &HFF&
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

```

```

End Sub

```

```

Private Sub Command24_Click()
Mid(PAQUETE, 10, 3) = teclado_7.Caption & teclado_8.Caption & teclado_9.Caption
Mid(PAQUETE, 7, 3) = teclado_4.Caption & teclado_5.Caption & teclado_6.Caption
Mid(PAQUETE, 4, 3) = teclado_1.Caption & teclado_2.Caption & teclado_3.Caption
Mid(PAQUETE, 3, 1) = teclado_0.Caption
Text11.Text = Mid(PAQUETE, 3, 1) & "." & Mid(PAQUETE, 4, 3) & "." & Mid(PAQUETE, 7, 3) & "." & Mid(PAQUETE, 10, 3)
VScroll3.Value = Val(CStr(teclado_7.Caption & teclado_8.Caption & teclado_9.Caption))
VScroll2.Value = Val(CStr(teclado_4.Caption & teclado_5.Caption & teclado_6.Caption))
VScroll1.Value = Val(CStr(teclado_1.Caption & teclado_2.Caption & teclado_3.Caption))
If (teclado_0.Caption) = "" Then
VScroll5.Value = 0
Else
VScroll5.Value = Val(CStr(teclado_0.Caption))
End If
MSComm1.Output = PAQUETE & Chr$(13) & Chr$(10)
Command22.Enabled = False
End Sub

```

```

Private Sub Command25_Click()

```

```

Label10.Caption = 518
Label9.Caption = ""
Label11.Caption = ""

Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0000518000" & "03 04 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 230 kHz"

Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &HFF&
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

End Sub

Private Sub Command26_Click()
Label10.Caption = 182
Label9.Caption = 2
Label11.Caption = ""
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0002182000" & "01 00 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 2,8 kHz"

Command11.BackColor = &HFF&
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

End Sub

Private Sub Command27_Click()
Label10.Caption = 182
Label9.Caption = 2
Label11.Caption = ""
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0002182000" & "01 01 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 6 kHz"

Command11.BackColor = &HFF&
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

End Sub

Private Sub Command28_Click()
Label10.Caption = 182
Label9.Caption = 2
Label11.Caption = ""
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0002182000" & "01 02 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 15 kHz"

```

```

Command11.BackColor = &HFF&
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

```

End Sub

```

Private Sub Command29_Click()
Label10.Caption = 182
Label9.Caption = 2
Label11.Caption = ""
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0002182000" & "01 03 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 50 kHz"

```

```

Command11.BackColor = &HFF&
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

```

End Sub

```

Private Sub Command30_Click()
Label10.Caption = 182
Label9.Caption = 2
Label11.Caption = ""
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0002182000" & "01 04 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 230 kHz"

```

```

Command11.BackColor = &HFF&
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

```

End Sub

```

Private Sub Command31_Click()
'2187.5 usb Filtro 2.8 kHz

Label10.Caption = 187
Label9.Caption = 2
Label11.Caption = 500
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0002187500" & "01 00 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 2,8 kHz"

```

```

Command12.BackColor = &HFF&
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F

```

```

Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

End Sub

Private Sub Command32_Click()
'2187.5 usb Filtro 6 kHz

Label10.Caption = 187
Label9.Caption = 2
Label11.Caption = 500
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0002187500" & "01 01 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 6 kHz"

Command12.BackColor = &HFF&
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

End Sub

Private Sub Command33_Click()
'2187.5 usb Filtro 15 kHz

Label10.Caption = 187
Label9.Caption = 2
Label11.Caption = 500
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0002187500" & "01 02 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 15 kHz"

Command12.BackColor = &HFF&
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

End Sub

Private Sub Command34_Click()
'2187.5 usb Filtro 50 kHz

Label10.Caption = 187
Label9.Caption = 2
Label11.Caption = 500
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0002187500" & "01 03 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 50 kHz"

Command12.BackColor = &HFF&
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F

```

```

Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

End Sub

Private Sub Command35_Click()
'2187.5 usb Filtro 230 kHz

Label10.Caption = 187
Label9.Caption = 2
Label11.Caption = 500
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0002187500" & "01 04 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 230 kHz"

Command12.BackColor = &HFF&
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

End Sub

Private Sub Command36_Click()
'121,5 AM filtro 2,8 kHz

Label10.Caption = 500
Label9.Caption = 121
Label11.Caption = ""
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0121500000" & "02 00 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 2,8 kHz"

Command15.BackColor = &HFF&
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

End Sub

Private Sub Command37_Click()
'121,5 AM filtro 6 kHz

Label10.Caption = 500
Label9.Caption = 121
Label11.Caption = ""
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0121500000" & "02 01 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 6 kHz"

Command15.BackColor = &HFF&
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F

```

```
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F
```

End Sub

```
Private Sub Command38_Click()
'121,5 MHz AM filtro 15 kHz
```

```
Label10.Caption = 500
Label9.Caption = 121
Label11.Caption = ""
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0121500000" & "02 02 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 15 kHz"
```

```
Command15.BackColor = &HFF&
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F
```

End Sub

```
Private Sub Command39_Click()
'121,5 MHz AM filtro 50 kHz
```

```
Label10.Caption = 500
Label9.Caption = 121
Label11.Caption = ""
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0121500000" & "02 03 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 50 kHz"
```

```
Command15.BackColor = &HFF&
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F
```

End Sub

```
Private Sub Command40_Click()
'121,5 MHz AM filtro 230 kHz
```

```
Label10.Caption = 500
Label9.Caption = 121
Label11.Caption = ""
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0121500000" & "02 04 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 230 kHz"
```

```
Command15.BackColor = &HFF&
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
```

```

Command63.BackColor = &H8000000F

End Sub

Private Sub Command41_Click()
'156,525 FM filtro 2,8 kHz

Label10.Caption = 525
Label9.Caption = 156
Label11.Caption = ""
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0156525000" & "05 00 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 2,8 kHz"

Command14.BackColor = &HFF&
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

End Sub

Private Sub Command42_Click()
'156,525 FM filtro 6 kHz

Label10.Caption = 525
Label9.Caption = 156
Label11.Caption = ""
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0156525000" & "05 01 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 6 kHz"

Command14.BackColor = &HFF&
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

End Sub

Private Sub Command43_Click()
'156,525 FM filtro 15 kHz

Label10.Caption = 525
Label9.Caption = 156
Label11.Caption = ""
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0156525000" & "05 02 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 15 kHz"

Command14.BackColor = &HFF&
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

```

End Sub

Private Sub Command44\_Click()  
'156,525 FM filtro 50 kHz

Label10.Caption = 525  
Label9.Caption = 156  
Label11.Caption = ""  
Text2.Text = ""  
MSComm1.Output = "K0" & "0156525000" & "05 03 00" & Chr\$(13) & Chr\$(10)  
Text4.Text = " filtro ancho de banda 50 kHz"

Command14.BackColor = &HFF&  
Command8.BackColor = &H8000000F  
Command10.BackColor = &H8000000F  
Command11.BackColor = &H8000000F  
Command12.BackColor = &H8000000F  
Command15.BackColor = &H8000000F  
Command13.BackColor = &H8000000F  
Command51.BackColor = &H8000000F  
Command57.BackColor = &H8000000F  
Command63.BackColor = &H8000000F

End Sub

Private Sub Command45\_Click()  
'156,525 FM filtro 230 kHz

Label10.Caption = 525  
Label9.Caption = 156  
Label11.Caption = ""  
Text2.Text = ""  
MSComm1.Output = "K0" & "0156525000" & "05 04 00" & Chr\$(13) & Chr\$(10)  
Text4.Text = " filtro ancho de banda 230 kHz"

Command14.BackColor = &HFF&  
Command8.BackColor = &H8000000F  
Command10.BackColor = &H8000000F  
Command11.BackColor = &H8000000F  
Command12.BackColor = &H8000000F  
Command15.BackColor = &H8000000F  
Command13.BackColor = &H8000000F  
Command51.BackColor = &H8000000F  
Command57.BackColor = &H8000000F  
Command63.BackColor = &H8000000F

End Sub

Private Sub Command46\_Click()  
'156,8 FM filtro 2,8 kHz

Label10.Caption = 800  
Label9.Caption = 156  
Label11.Caption = ""  
Text2.Text = ""  
MSComm1.Output = "K0" & "0156800000" & "05 00 00" & Chr\$(13) & Chr\$(10)  
Text4.Text = " filtro ancho de banda 2,8 kHz"

Command13.BackColor = &HFF&  
Command8.BackColor = &H8000000F  
Command10.BackColor = &H8000000F  
Command11.BackColor = &H8000000F  
Command12.BackColor = &H8000000F  
Command14.BackColor = &H8000000F  
Command15.BackColor = &H8000000F  
Command51.BackColor = &H8000000F  
Command57.BackColor = &H8000000F  
Command63.BackColor = &H8000000F

End Sub



```

Private Sub Command47_Click()
'156,8 FM filtro 6 kHz

Label10.Caption = 800
Label9.Caption = 156
Label11.Caption = ""
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0156800000" & "05 01 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 6 kHz"

Command13.BackColor = &HFF&
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

End Sub

Private Sub Command48_Click()
'156,8 FM filtro 15 kHz

Label10.Caption = 800
Label9.Caption = 156
Label11.Caption = ""
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0156800000" & "05 02 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 15 kHz"

Command13.BackColor = &HFF&
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

End Sub

Private Sub Command49_Click()
'156,8 FM filtro 50 kHz

Label10.Caption = 800
Label9.Caption = 156
Label11.Caption = ""
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0156800000" & "05 03 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 50 kHz"

Command13.BackColor = &HFF&
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

End Sub

```

```

Private Sub Command50_Click()
'156,8 FM filtro 230 kHz

Label10.Caption = 800
Label9.Caption = 156
Label11.Caption = ""
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0156800000" & "05 04 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 230 kHz"

```

```

Command13.BackColor = &HFF&
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

```

End Sub

```

Private Sub Command51_Click()
'123,5 AM filtro 2,8 kHz

Label10.Caption = 500
Label9.Caption = 123
Label11.Caption = ""
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0123500000" & "02 00 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 2,8 kHz"

```

```

Command15.BackColor = &H8000000F
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &HFF&
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

```

End Sub

```

Private Sub Command52_Click()
'123,5 AM filtro 2,8 kHz

Label10.Caption = 500
Label9.Caption = 123
Label11.Caption = ""
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0123500000" & "02 00 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 2,8 kHz"

```

```

Command15.BackColor = &H8000000F
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &HFF&
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

```

End Sub

```

Private Sub Command53_Click()
'123,5 AM filtro 6 kHz

```

```

Label10.Caption = 500
Label9.Caption = 123
Label11.Caption = ""
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0123500000" & "02 01 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 6 kHz"

```

```

Command15.BackColor = &H8000000F
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &HFF&
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

```

End Sub

```

Private Sub Command54_Click()
'123,5 AM filtro 15 kHz

```

```

Label10.Caption = 500
Label9.Caption = 123
Label11.Caption = ""
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0123500000" & "02 02 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 15 kHz"

```

```

Command15.BackColor = &H8000000F
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &HFF&
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

```

End Sub

```

Private Sub Command55_Click()
'123,5 AM filtro 50 kHz

```

```

Label10.Caption = 500
Label9.Caption = 123
Label11.Caption = ""
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0123500000" & "02 03 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 50 kHz"

```

```

Command15.BackColor = &H8000000F
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &HFF&
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

```

End Sub

```

Private Sub Command56_Click()
'123,5 AM filtro 230 kHz

```

```

Label10.Caption = 500

```

```

Label9.Caption = 123
Label11.Caption = ""
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0123500000" & "02 04 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 230 kHz"

```

```

Command15.BackColor = &H8000000F
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command12.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &HFF&
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &H8000000F

```

End Sub

```

Private Sub Command57_Click()
'4125 usb Filtro 2.8 kHz

```

```

Label10.Caption = 125
Label9.Caption = 4
Label11.Caption = 0
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0004125000" & "01 00 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 2,8 kHz"

```

```

Command12.BackColor = &H8000000F
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &HFF&
Command63.BackColor = &H8000000F

```

End Sub

```

Private Sub Command58_Click()
'4125 usb Filtro 2.8 kHz

```

```

Label10.Caption = 125
Label9.Caption = 4
Label11.Caption = 0
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0004125000" & "01 00 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 2,8 kHz"

```

```

Command12.BackColor = &H8000000F
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &HFF&
Command63.BackColor = &H8000000F

```

End Sub

```

Private Sub Command59_Click()
'4125 usb Filtro 6 kHz

```

```

Label10.Caption = 125
Label9.Caption = 4
Label11.Caption = 0

```

```
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0004125000" & "01 01 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 6 kHz"
```

```
Command12.BackColor = &H8000000F
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &HFF&
Command63.BackColor = &H8000000F
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command60_Click()
'4125 usb Filtro 15 kHz
```

```
Label10.Caption = 125
Label9.Caption = 4
Label11.Caption = 0
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0004125000" & "01 02 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 15 kHz"
```

```
Command12.BackColor = &H8000000F
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &HFF&
Command63.BackColor = &H8000000F
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command61_Click()
'4125 usb Filtro 50 kHz
```

```
Label10.Caption = 125
Label9.Caption = 4
Label11.Caption = 0
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0004125000" & "01 03 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 50 kHz"
```

```
Command12.BackColor = &H8000000F
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &HFF&
Command63.BackColor = &H8000000F
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command62_Click()
'4125 usb Filtro 230 kHz
```

```
Label10.Caption = 125
Label9.Caption = 4
Label11.Caption = 0
```

```
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0004125000" & "01 04 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 230 kHz"
```

```
Command12.BackColor = &H8000000F
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &HFF&
Command63.BackColor = &H8000000F
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command63_Click()
'8291 usb Filtro 2.8 kHz
```

```
Label10.Caption = 125
Label9.Caption = 4
Label11.Caption = 0
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0008291000" & "01 00 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 2,8 kHz"
```

```
Command12.BackColor = &H8000000F
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &HFF&
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command64_Click()
'8291 usb Filtro 2.8 kHz
```

```
Label10.Caption = 125
Label9.Caption = 4
Label11.Caption = 0
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0008291000" & "01 00 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 2,8 kHz"
```

```
Command12.BackColor = &H8000000F
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &HFF&
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command65_Click()
'8291 usb Filtro 6 kHz
```

```
Label10.Caption = 125
Label9.Caption = 4
Label11.Caption = 0
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0008291000" & "01 01 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
```

Text4.Text = " filtro ancho de banda 6 kHz"

```
Command12.BackColor = &H8000000F
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &HFF&
End Sub
```

Private Sub Command66\_Click()  
'8291 usb Filtro 15 kHz

```
Label10.Caption = 125
Label9.Caption = 4
Label11.Caption = 0
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0008291000" & "01 02 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 15 kHz"
```

```
Command12.BackColor = &H8000000F
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &HFF&
End Sub
```

Private Sub Command67\_Click()  
'8291 usb Filtro 500 kHz

```
Label10.Caption = 125
Label9.Caption = 4
Label11.Caption = 0
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0008291000" & "01 03 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 500 kHz"
```

```
Command12.BackColor = &H8000000F
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
Command11.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &HFF&
End Sub
```

Private Sub Command68\_Click()  
'8291 usb Filtro 230 kHz

```
Label10.Caption = 125
Label9.Caption = 4
Label11.Caption = 0
Text2.Text = ""
MSComm1.Output = "K0" & "0008291000" & "01 04 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
Text4.Text = " filtro ancho de banda 230 kHz"
```

```
Command12.BackColor = &H8000000F
Command8.BackColor = &H8000000F
Command10.BackColor = &H8000000F
```

```

Command11.BackColor = &H8000000F
Command15.BackColor = &H8000000F
Command14.BackColor = &H8000000F
Command13.BackColor = &H8000000F
Command51.BackColor = &H8000000F
Command57.BackColor = &H8000000F
Command63.BackColor = &HFF&
End Sub

Private Sub Command7_Click()
VALOR_MHZ = Mid(Text21.Text, 1, 3)
VALOR_KHZ = Mid(Text21.Text, 5, 3)
VALOR_HZ = Mid(Text21.Text, 9, 3)

Text22.Text = VALOR_MHZ
Text23.Text = VALOR_KHZ
Text24.Text = VALOR_HZ

Timer5.Enabled = True
VScroll23.Enabled = False
End Sub

Private Sub Check6_Click()
If (CBool(Check6.Value)) Then
'Text4.Text = "Attenuator ON"
MSComm1.Output = "J4701" & Chr$(13) & Chr$(10) 'Attenuator ON
Else
MSComm1.Output = "J4700" & Chr$(13) & Chr$(10) 'Attenuator OFF
'Text4.Text = "Attenuator OFF"
End If
End Sub

Private Sub Check8_Click()
If (CBool(Check8.Value)) Then
'Text4.Text = "Noise Blanker ON"
MSComm1.Output = "J4601" & Chr$(13) & Chr$(10) 'NB ON
Else
MSComm1.Output = "J4600" & Chr$(13) & Chr$(10) 'NB OFF
'Text4.Text = "Noise Blanker OFF"
End If
End Sub

Private Sub HScroll1_Change()
Dim volume As String
volume = "J4000"

If (HScroll1.Value < 16) Then
Mid(volume, 5, 1) = Hex(HScroll1.Value)
Else
Mid(volume, 4, 2) = Hex(HScroll1.Value)
End If
MSComm1.Output = volume & Chr$(13) & Chr$(10)
Text9.Text = volume
End Sub

Private Sub HScroll2_Change()
Dim squelch As String
squelch = "J4100"

If (HScroll2.Value < 16) Then
Mid(squelch, 5, 1) = Hex(HScroll2.Value)
Else
Mid(squelch, 4, 2) = Hex(HScroll2.Value)
End If
MSComm1.Output = squelch & Chr$(13) & Chr$(10)
Text10.Text = squelch
End Sub

```



Private Sub MAAutomatico\_Click()

MSComm1.RThreshold = 0  
MSComm1.SThreshold = 0

If MSComm1.PortOpen = False Then  
MSComm1.CommPort = 10  
MSComm1.PortOpen = True  
End If

MSComm1.Output = "H101" & Chr\$(13) & Chr\$(10)  
Buffer\$ = Buffer\$ & MSComm1.Input

Do  
DoEvents  
Buffer\$ = Buffer\$ & MSComm1.Input  
Loop Until InStr(Buffer\$, "G00")

MSComm1.Output = "G300" & Chr\$(13) & Chr\$(10)

MSComm1.Output = "H1?" & Chr\$(13) & Chr\$(10)

Do  
DoEvents  
Buffer\$ = Buffer\$ & MSComm1.Input  
Loop Until InStr(Buffer\$, "H101")

MSComm1.Output = "G4?" & Chr\$(13) & Chr\$(10)

Do  
DoEvents  
Buffer\$ = Buffer\$ & MSComm1.Input  
Loop Until InStr(Buffer\$, "G410")

MSComm1.Output = "G301" & Chr\$(13) & Chr\$(10)

MSComm1.Output = "GE?" & Chr\$(13) & Chr\$(10)

Do  
DoEvents  
Buffer\$ = Buffer\$ & MSComm1.Input  
Loop Until InStr(Buffer\$, "GE02")

MSComm1.Output = "GD?" & Chr\$(13) & Chr\$(10)

Do  
DoEvents  
Buffer\$ = Buffer\$ & MSComm1.Input  
Loop Until InStr(Buffer\$, "GD")

MSComm1.Output = "K00106300000060400"

' MSComm1.Output = "K00857937500050200"

MSComm1.Output = "J4100" & Chr\$(13) & Chr\$(10)

MSComm1.Output = "J5100" & Chr\$(13) & Chr\$(10)

```

MSComm1.Output = "J5000" & Chr$(13) & Chr$(10)

MSComm1.Output = "J4380" & Chr$(13) & Chr$(10)

MSComm1.Output = "J4500" & Chr$(13) & Chr$(10)

MSComm1.Output = "J4600" & Chr$(13) & Chr$(10)

MSComm1.Output = "J4700" & Chr$(13) & Chr$(10)

MSComm1.Output = "J4A80" & Chr$(13) & Chr$(10)

MSComm1.Output = "LD8200" & Chr$(13) & Chr$(10)

MSComm1.Output = "J4050" & Chr$(13) & Chr$(10)

MsgBox Buffer$
'-----
'--Finalizar Inicializacion de comunicaciones con PCR-1000---
'-----

' Habilita interrupciones.

MSComm1.RThreshold = 1
MSComm1.SThreshold = 1
End Sub

Private Sub MNormal_Click()
Frame3.Visible = False
End Sub

'Private Sub HScroll1_Change()
'Call HScroll1_Scroll
'End Sub

'Private Sub HScroll1_Scroll()
'FUNCION_Boost = (Cdbl(HScroll1.Value)) / 20
' Label3.Caption = Format$(FUNCION_Boost, "#0.00") & " dB"
'End Sub

Private Sub Picture1_Click()
With Picture1
.AutoRedraw = True
.Cls
.AutoRedraw = False
End With
End Sub

Private Sub Salir_Click()
MSComm1.PortOpen = False
End Sub

Private Sub Timer2_Timer()
'Mostrar los mensajes recibidos desde el puerto serie PCR1000
'If ((MSComm1.Input = (Chr$(13) & Chr$(10)))) Then
MSComm1.Output = "H101" & Chr$(13) & Chr$(10) 'Actualisation de la commande ON
Text2.Text = MSComm1.Input & Text2.Text

```

```

'End If

End Sub

Private Sub Timer3_Timer()
Dim nivel As String

Dim aux_X As Single
Dim aux_Y As Single
'Afficher sur le Text la valeur du signal S Meter
MSComm1.Output = "I1 ?" & Chr$(13) & Chr$(10)
cadena = CStr(MSComm1.Input)

If (Mid(cadena, 1, 2) = "I1") Then
nivel = Mid(cadena, 3, 3)
If Not (nivel = "") Then

'Nivel_senal = CSng("&H" & nivel)
Nivel_senal = CSng(Val("&H" & nivel))
End If

If (Nivel_senal < 48) Then 'Zona S0-S3
aux_X = (6.25 * Nivel_senal) + 200
aux_Y = (-1.46 * Nivel_senal) + 555

With Picture4
.AutoRedraw = True
.Cls
Picture4.DrawWidth = 3
Picture4.Line (1200, 1300)-(aux_X, aux_Y), vbYellow
End With
Else
If ((Nivel_senal > 48) And (Nivel_senal < 80)) Then 'zona S3-S5
aux_X = (6.25 * Nivel_senal) + 200
aux_Y = (-2.03 * Nivel_senal) + 597.44
With Picture4
.AutoRedraw = True
.Cls
Picture4.DrawWidth = 3
Picture4.Line (1200, 1300)-(aux_X, aux_Y), vbYellow
End With
Else
If ((Nivel_senal >= 80) And (Nivel_senal < 112)) Then 'zona S5-S7
aux_X = (9.37 * Nivel_senal) - 49.6
aux_Y = (-1.41 * Nivel_senal) + 547.4
With Picture4
.AutoRedraw = True
.Cls
Picture4.DrawWidth = 3
Picture4.Line (1200, 1300)-(aux_X, aux_Y), vbYellow
End With
Else
If ((Nivel_senal >= 112) And (Nivel_senal < 144)) Then 'zona S7-S9
aux_X = (9.37 * Nivel_senal) - 49.44
aux_Y = (1.07 * Nivel_senal) + 270.53
With Picture4
.AutoRedraw = True
.Cls
Picture4.DrawWidth = 3
Picture4.Line (1200, 1300)-(aux_X, aux_Y), vbYellow
End With
Else
If ((Nivel_senal >= 144) And (Nivel_senal < 176)) Then 'zona S9-S9+20
aux_X = (9.37 * Nivel_senal) - 49.28
aux_Y = (1.07 * Nivel_senal) + 265.92
With Picture4
.AutoRedraw = True
.Cls
Picture4.DrawWidth = 3
Picture4.Line (1200, 1300)-(aux_X, aux_Y), vbYellow
End With

```

```

Else

If ((Nivel_senal >= 176) And (Nivel_senal < 208)) Then 'zona S9+20-S9+40
    aux_X = (6.25 * Nivel_senal) + 500
    aux_Y = (1.875 * Nivel_senal) + 120
    With Picture4
        .AutoRedraw = True
        .Cls
        Picture4.DrawWidth = 3
        Picture4.Line (1200, 1300)-(aux_X, aux_Y), vbYellow
    End With
Else

If ((Nivel_senal >= 208) And (Nivel_senal < 240)) Then 'zona S9+40-S9+60
    aux_X = (9.375 * Nivel_senal) - 150
    aux_Y = (2.8125 * Nivel_senal) - 75
    With Picture4
        .AutoRedraw = True
        .Cls
        Picture4.DrawWidth = 3
        Picture4.Line (1200, 1300)-(aux_X, aux_Y), vbYellow
    End With
Else

    With Picture4
        .AutoRedraw = True
        .Cls
        Picture4.Line (1200, 1300)-(200, 555), vbYellow
    End With
End If
End If
End If
End If
End If
End If

End If
'aficheur du niveau du signal

'Picture1.Line ((Picture4.ScaleWidth / 2) + Val(Text14.Text), 50 * -Cos(Val(Text14.Text) / 170))-((Picture4.ScaleWidth / 2),
(Picture4.ScaleHeight / 2))
' Picture4.Line ((Picture4.ScaleWidth / 2) - 10 * Val(Text14.Text), 0)-((Picture4.ScaleWidth / 2), 3 * (Picture4.ScaleHeight / 4))

End Sub

Private Sub Timer4_Timer()

'Dibujar L1
Picture2.Line (((N_FFT / 4) - (N_FFT / 10)) + Zoom_L1, -3)-(((N_FFT / 4) - (N_FFT / 10)) + Zoom_L1, 85), vbRed
'Dibujar L2
Picture2.Line (((N_FFT / 4) + (N_FFT / 10)) + Zoom_L2, -3)-(((N_FFT / 4) + (N_FFT / 10)) + Zoom_L2, 85), vbRed

'guardar posición L1
Posicion_L1 = (((N_FFT / 4) - (N_FFT / 10)) + Zoom_L1)

'guardar posición L2
Posicion_L2 = (((N_FFT / 4) + (N_FFT / 10)) + Zoom_L2)

End Sub

Private Sub Timer5_Timer()
Label82.Caption = STEEP_FRQ

If (CONTADO_MHZ < 999) And (CONTADO_KH < 999) Then

If VALOR_MHZ < 999 Then
    If (VALOR_MHZ < 10) Then
        Mid(PAQUETE, 4, 3) = "00" & CStr(VALOR_MHZ)
        MSComm1.Output = Form1.PAQUETE & Chr$(13) & Chr$(10)
    
```

```

'AQUI ORDEN DE DIBUJAR
Text11.Text = Mid(PAQUETE, 3, 1) & "." & Mid(PAQUETE, 4, 3) & "." & Mid(PAQUETE, 7, 3) & "." & Mid(PAQUETE,
10, 3)
Else
If (VALOR_MHZ < 100) Then
Mid(PAQUETE, 4, 3) = "0" & CStr(VALOR_MHZ)
MSComm1.Output = Form1.PAQUETE & Chr$(13) & Chr$(10)
'AQUI ORDEN DE DIBUJAR
Text11.Text = Mid(PAQUETE, 3, 1) & "." & Mid(PAQUETE, 4, 3) & "." & Mid(PAQUETE, 7, 3) & "." & Mid(PAQUETE,
10, 3)
Else
If (VALOR_MHZ < 1000) Then
Mid(PAQUETE, 4, 3) = CStr(VALOR_MHZ)
MSComm1.Output = Form1.PAQUETE & Chr$(13) & Chr$(10)
'AQUI ORDEN DE DIBUJAR
Text11.Text = Mid(PAQUETE, 3, 1) & "." & Mid(PAQUETE, 4, 3) & "." & Mid(PAQUETE, 7, 3) & "." & Mid(PAQUETE,
10, 3)
End If
End If
End If
If VALOR_KHZ < (999) Then

'Control de los kHz
If (VALOR_KHZ < 10) Then
Mid(PAQUETE, 7, 3) = "00" & CStr(VALOR_KHZ)
MSComm1.Output = Form1.PAQUETE & Chr$(13) & Chr$(10)
VScroll2.Value = VALOR_KHZ
'AQUI ORDEN DE DIBUJAR

VALOR_KHZ = VALOR_KHZ + STEEP_FRQ '1 'INCREMENTO DE 1KH

Text11.Text = Mid(PAQUETE, 3, 1) & "." & Mid(PAQUETE, 4, 3) & "." & Mid(PAQUETE, 7, 3) & "." &
Mid(PAQUETE, 10, 3)
Else
If (VALOR_KHZ < 100) Then
Mid(PAQUETE, 7, 3) = "0" & CStr(VALOR_KHZ)
MSComm1.Output = Form1.PAQUETE & Chr$(13) & Chr$(10)
VScroll2.Value = VALOR_KHZ
'AQUI ORDEN DE DIBUJAR
VALOR_KHZ = VALOR_KHZ + STEEP_FRQ 'INCREMENTO DE 1KH

Text11.Text = Mid(PAQUETE, 3, 1) & "." & Mid(PAQUETE, 4, 3) & "." & Mid(PAQUETE, 7, 3) & "." &
Mid(PAQUETE, 10, 3)
Else
If (VALOR_KHZ < 1000) Then
Mid(PAQUETE, 7, 3) = CStr(VALOR_KHZ)
MSComm1.Output = Form1.PAQUETE & Chr$(13) & Chr$(10)
VScroll2.Value = VALOR_KHZ
'AQUI ORDEN DE DIBUJAR
VALOR_KHZ = VALOR_KHZ + STEEP_FRQ 'INCREMENTO DE 1KH
' Picture2.Scale (YMIN, XMAX)-((YMAX / 2), XMIN) 'MED+++++

Text11.Text = Mid(PAQUETE, 3, 1) & "." & Mid(PAQUETE, 4, 3) & "." & Mid(PAQUETE, 7, 3) & "." &
Mid(PAQUETE, 10, 3)
End If
End If
End If

Else

VALOR_KHZ = 0

VALOR_MHZ = VALOR_MHZ + 1

End If

```

```

        End If
    End If

End Sub

Private Sub VScroll1_Change()
'Control de los MHz
Text2.Text = ""
'MSComm1.Output = "K0" & "0" & ("000" + VScroll1.Value) & "000000" & "06 04 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
'paquete = "K0" & "0" & ("000" + VScroll1.Value) & "000000" & "06 04 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
'Text3.Text = "K0" & "0" & ("000" + VScroll1.Value) & "000000" & "06 04 00" & Chr$(13) & Chr$(10)
If (VScroll1.Value < 10) Then
    Mid(PAQUETE, 4, 3) = "00" & CStr(VScroll1.Value)
Else
    If (VScroll1.Value < 100) Then
        Mid(PAQUETE, 4, 3) = "0" & CStr(VScroll1.Value)
    Else
        If (VScroll1.Value < 1000) Then
            Mid(PAQUETE, 4, 3) = CStr(VScroll1.Value)
        End If
    End If
End If

Text11.Text = Mid(PAQUETE, 3, 1) & "." & Mid(PAQUETE, 4, 3) & "." & Mid(PAQUETE, 7, 3) & "." & Mid(PAQUETE, 10, 3)
'Label9.Caption = Mid(paquete, 4, 3)
MSComm1.Output = PAQUETE & Chr$(13) & Chr$(10)
End Sub

Private Sub VScroll10_Change()

Text6.Text = VScroll10.Value
Picture5.Scale ((VScroll10.Value), (VScroll11.Value))-((VScroll12.Value), (VScroll13.Value))

End Sub

Private Sub VScroll11_Change()
Text7.Text = VScroll11.Value
Picture5.Scale ((VScroll10.Value), (VScroll11.Value))-((VScroll12.Value), (VScroll13.Value))
End Sub

Private Sub VScroll12_Change()
Text8.Text = VScroll12.Value
Picture5.Scale ((VScroll10.Value), (VScroll11.Value))-((VScroll12.Value), (VScroll13.Value))
End Sub

Private Sub VScroll13_Change()
Text12.Text = VScroll13.Value
Picture5.Scale ((VScroll10.Value), (VScroll11.Value))-((VScroll12.Value), (VScroll13.Value))
End Sub

Private Sub VScroll14_Change()
Label46.Caption = VScroll14.Value
ii = VScroll14.Value
End Sub

Private Sub VScroll18_Change()
Alpha = VScroll18.Value / 100
Label66.Caption = Alpha
End Sub

Private Sub VScroll19_Change()

NUM_BUCLE_AVG_LIN = VScroll19.Value * 10
Label67.Caption = NUM_BUCLE_AVG_LIN
End Sub

Private Sub VScroll2_Change()
'Control de los kHz
If (VScroll2.Value < 10) Then
    Mid(PAQUETE, 7, 3) = "00" & CStr(VScroll2.Value)
Else

```

```

If (VScroll2.Value < 100) Then
    Mid(PAQUETE, 7, 3) = "0" & CStr(VScroll2.Value)
Else
    If (VScroll2.Value < 1000) Then
        Mid(PAQUETE, 7, 3) = CStr(VScroll2.Value)
    End If
End If
End If

Text11.Text = Mid(PAQUETE, 3, 1) & "." & Mid(PAQUETE, 4, 3) & "." & Mid(PAQUETE, 7, 3) & "." & Mid(PAQUETE, 10, 3)
'Label10.Caption = Mid(paquete, 7, 3)
MSComm1.Output = PAQUETE & Chr$(13) & Chr$(10)
End Sub

Private Sub VScroll20_Change()
Dif_trigger = VScroll20.Value
Label68.Caption = Dif_trigger
End Sub

Private Sub VScroll23_Change()
STEEP_FRQ = VScroll23.Value
Label82.Caption = STEEP_FRQ

End Sub

Private Sub VScroll3_Change()
'Control de los Hz
If (VScroll3.Value < 10) Then
    Mid(PAQUETE, 10, 3) = "00" & CStr(VScroll3.Value)
Else
    If (VScroll3.Value < 100) Then
        Mid(PAQUETE, 10, 3) = "0" & CStr(VScroll3.Value)
    Else
        If (VScroll3.Value < 1000) Then
            Mid(PAQUETE, 10, 3) = CStr(VScroll3.Value)
        End If
    End If
End If
End If

Text11.Text = Mid(PAQUETE, 3, 1) & "." & Mid(PAQUETE, 4, 3) & "." & Mid(PAQUETE, 7, 3) & "." & Mid(PAQUETE, 10, 3)
'Label11.Caption = Mid(paquete, 10, 3)
MSComm1.Output = PAQUETE & Chr$(13) & Chr$(10)
End Sub

Private Sub VScroll4_Change()
Call VScroll4_Scroll
End Sub

Private Sub VScroll4_Scroll()
FUNCION_Boost = (Cdbl(VScroll4.Value)) / 20
Label17.Caption = Format$(FUNCION_Boost, "#0.00") & " dB"
End Sub

Private Sub VScroll5_Change()
'Control de los GHz

    Mid(PAQUETE, 3, 1) = CStr(VScroll5.Value)

Text11.Text = Mid(PAQUETE, 3, 1) & "." & Mid(PAQUETE, 4, 3) & "." & Mid(PAQUETE, 7, 3) & "." & Mid(PAQUETE, 10, 3)

MSComm1.Output = PAQUETE & Chr$(13) & Chr$(10)

End Sub

Private Sub VScroll6_Change()
Label11.Caption = VScroll6.Value
End Sub

Private Sub VScroll7_Change()
PARAR_CAPTURA

```

```

BUFFER_Duracion = (VScroll7.Value) ' * 2
Text5.Text = BUFFER_Duracion
CAPTURA.INICIALIZACION BUFFER_Duracion, FS, True, True, Valor_Filtro, FILTER_FRQ, FILTER_BW
CAPTURA.CAPTURAR False, CLng(Combo2.List(Combo2.ListIndex)), CAPTURA.Valor_Filtro, BUFFER_Duracion
End Sub

```

```

Private Sub VScroll8_Change()
Label65.Caption = VScroll8.Value
End Sub

```

```

Private Sub VScroll9_Change()
Label39.Caption = VScroll9.Value
AVG_BOUCLE = Val(Label39.Caption)
End Sub

```

```

Private Sub zoom_Click()
Timer4.Enabled = True
L1.Visible = True
L2.Visible = True
ImageL1.Visible = True
ImageL2.Visible = True
L1a.Visible = True
L1b.Visible = True
L2a.Visible = True
L2b.Visible = True
Aplicar_Zoom.Visible = True
zoom_off.Visible = True
zoom.Visible = False

```

```

End Sub

```

```

Private Sub zoom_off_Click()
zoom_off.Visible = False
zoom.Visible = True
Picture2.Cls

```

```

Timer4.Enabled = False
L1.Visible = False
L2.Visible = False
ImageL1.Visible = False
ImageL2.Visible = False
L1a.Visible = False
L1b.Visible = False
L2a.Visible = False
L2b.Visible = False
Aplicar_Zoom.Visible = False
Quitar_Zoom.Visible = False
End Sub

```



## BASE DE DATOS

-----

Public PAQUETE As String

Private Sub Actualizar\_Click()

```
On Error GoTo errSub
'Actualiza el control data
Data1.UpdateRecord
Data1.Recordset.Bookmark = Data1.Recordset.LastModified
Exit Sub
```

errSub:

```
If err.Number = 524 Then
    MsgBox "Para actualizar un registro primero agregue uno nuevo o" & _
        "modifique algun registro activo", vbInformation
End If
End Sub
```

Private Sub Agregar\_Click()

```
Data1.Refresh
Data1.Recordset.AddNew
Text5.SetFocus
End Sub
```

Private Sub Combo1\_Change()

```
tiempo = CInt(Val((Combo1.List(Combo1.ListIndex))))
Label3.Caption = tiempo & " segundos"
Timer1.Interval = tiempo * 1000
End Sub
```

Private Sub Combo1\_Click()

```
tiempo = CInt(Val((Combo1.List(Combo1.ListIndex))))
Label3.Caption = tiempo & " segundos"
Timer1.Interval = tiempo * 1000
End Sub
```

Private Sub Command1\_Click()

```
PAQUETE = Form1.PAQUETE
Text1.Text = PAQUETE
End Sub
```

Private Sub Command5\_Click()

```
Timer1.Enabled = True
Combo1.Enabled = False
End Sub
```

Private Sub Command6\_Click()

```
Timer1.Enabled = False
Label2.Visible = False
Combo1.Enabled = True
End Sub
```

Private Sub Crear\_Click()

```
Data1.Recordset.AddNew 'crea una tabla nueva
End Sub
```

Private Sub Eliminar\_Click()

```
If MsgBox("Quieres Eliminar el registro:" & Text5 & "?", 16 + 4) = 6 Then
    Data1.Recordset.Delete
    Data1.Refresh
    Text5.SetFocus
    MsgBox "Se Eliminó el registro", vbCritical, "Aviso Importante"
Else
    MsgBox "No se Eliminó el registro:" & Text5, vbExclamation, "Aviso Importante"
End If
End Sub
```

```

Private Sub Form_Load()
Combo1.AddItem 1
Combo1.AddItem 2
Combo1.AddItem 3
Combo1.AddItem 4
Combo1.AddItem 5
Combo1.AddItem 10
Combo1.AddItem 20
Combo1.AddItem 30
Combo1.AddItem 40
Combo1.AddItem 50
Combo1.AddItem 60

Combo1.ListIndex = 4
tiempo = CInt(Val((Combo1.List(Combo1.ListIndex))))
Label3.Caption = tiempo & " segundos"
End Sub

Private Sub Guardar_Click()
Data1.Refresh
Data1.UpdateRecord
Data1.Recordset.MoveNext
MsgBox "el registro ha sido guardado en la base de datos", vbExclamation, "aviso importante"
End Sub

Private Sub Label1_Click()
Form1.Base_datos = False

End Sub

Private Sub Modificar_Click()
Data1.Recordset.Edit
If Text5 <> "" Then Data1.Recordset("Fecha").Value = Text5
If Text6 <> "" Then Data1.Recordset("Hora").Value = Text6
If Text7 <> "" Then Data1.Recordset("Modo").Value = Val(Text7)
Data1.Recordset.UPDATE
End Sub

Private Sub Refrescar_Click()

Data1.Refresh
End Sub
Private Sub Data1_Error(DataErr As Integer, Response As Integer)

MsgBox "Error: " & Error$(DataErr)
Response = 0
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
'CREAR
Data1.Recordset.AddNew 'crea una tabla nueva

'Copiar Datos en las Labels

Dato_Fecha.Caption = Date 'Fecha
Dato_Hora.Caption = Time ' Hora
Dato_Modo.Caption = Form1.Modo 'Modo
PAQUETE = Form1.PAQUETE
Dato_frecuencia.Caption = Mid(PAQUETE, 3, 1) & " GHz " & Mid(PAQUETE, 4, 3) & " MHz " & Mid(PAQUETE, 7, 3) & " kHz " &
Mid(PAQUETE, 10, 3) & " Hz "
Dato_ancho_banda.Caption = Form1.Ancho_banda
Dato_nivel_senal.Caption = Form1.Nivel_senal

Label2.Visible = True 'Para mostrar texto GRABANDO

'AGREGAR
Data1.Refresh
Data1.Recordset.AddNew

```

```

        'Text5.SetFocus

End Sub

Private Sub Form_Activate()

pquete = Form1.PAQUETE
With MSFlexGrid1
For x = 1 To .Rows - 1
.Row = x
For J = 1 To .Cols - 1
.Col = J
.CellBackColor = If((x Mod 2) = 1, Val(&H8000000D), Val(&H80000004))
.CellFontBold = True
.CellForeColor = &H80000007
Next J
Next x
End With
End Sub

```

## MODO ESCANEEO AUTO

Public contador As Integer  
Public bucle As Integer

Public PAQUETE As String  
Public tiempo As Double

'utilizados para modo escaneo programado  
'\*\*\*\*\*

Public Scan\_paquete1 As String  
Public Scan\_paquete2 As String  
Public Scan\_paquete3 As String  
Public Scan\_paquete4 As String  
Public Scan\_paquete5 As String  
Public Scan\_paquete6 As String  
Public Scan\_paquete7 As String  
Public Scan\_paquete8 As String  
Public Scan\_paquete9 As String  
Public Scan\_paquete10 As String  
'\*\*\*\*\*

Private Sub Command5\_Click()  
Timer1.Enabled = True  
End Sub

Private Sub Command6\_Click()  
Timer1.Enabled = False  
End Sub

Private Sub Combo1\_Click()  
tiempo = CInt(Val((Combo1.List(Combo1.ListIndex))))  
Label1.Caption = tiempo & " segundos"  
Timer1.Interval = tiempo \* 1000  
End Sub

Private Sub Command10\_Click()  
Timer5.Enabled = True

End Sub

Private Sub Command11\_Click()  
contador = 0  
Timer5.Enabled = False  
End Sub

Private Sub Command8\_Click()  
bucle = 0  
If contador < 10 Then

    contador = contador + 1  
    Command10.Enabled = True  
    If Dato\_scan1.Visible = False Then  
        L\_scan1.Visible = True  
        Dato\_scan1.Visible = True  
        Dato\_scan1.Caption = Frecuencia.Caption & Modo.Caption & Filtro.Caption  
        Label\_scan1.Enabled = True  
        Scan\_paquete1 = Form1.PAQUETE  
    Else

        If Dato\_scan2.Visible = False Then  
            L\_scan2.Visible = True  
            Dato\_scan2.Visible = True  
            Dato\_scan2.Caption = Frecuencia.Caption & Modo.Caption & Filtro.Caption  
            Label\_scan2.Enabled = True  
            Scan\_paquete2 = Form1.PAQUETE

        Else  
            If Dato\_scan3.Visible = False Then  
                L\_scan3.Visible = True

```

Dato_scan3.Visible = True
Dato_scan3.Caption = Frecuencia.Caption & Modo.Caption & Filtro.Caption
Label_scan3.Enabled = True
Scan_paquete3 = Form1.PAQUETE

Else

If Dato_scan4.Visible = False Then
L_scan4.Visible = True
Dato_scan4.Visible = True
Dato_scan4.Caption = Frecuencia.Caption & Modo.Caption & Filtro.Caption
Label_scan4.Enabled = True
Scan_paquete4 = Form1.PAQUETE

Else

If Dato_scan5.Visible = False Then
L_scan5.Visible = True
Dato_scan5.Visible = True
Dato_scan5.Caption = Frecuencia.Caption & Modo.Caption & Filtro.Caption
Label_scan5.Enabled = True
Scan_paquete5 = Form1.PAQUETE

Else

If Dato_scan6.Visible = False Then
L_scan6.Visible = True
Dato_scan6.Visible = True
Dato_scan6.Caption = Frecuencia.Caption & Modo.Caption & Filtro.Caption
Label_scan6.Enabled = True
Scan_paquete6 = Form1.PAQUETE

Else

If Dato_scan7.Visible = False Then
L_scan7.Visible = True
Dato_scan7.Visible = True
Dato_scan7.Caption = Frecuencia.Caption & Modo.Caption & Filtro.Caption
Label_scan7.Enabled = True
Scan_paquete7 = Form1.PAQUETE

Else

If Dato_scan8.Visible = False Then
L_scan8.Visible = True
Dato_scan8.Visible = True
Dato_scan8.Caption = Frecuencia.Caption & Modo.Caption & Filtro.Caption
Label_scan8.Enabled = True
Scan_paquete8 = Form1.PAQUETE

Else

If Dato_scan9.Visible = False Then
L_scan9.Visible = True
Dato_scan9.Visible = True
Dato_scan9.Caption = Frecuencia.Caption & Modo.Caption & Filtro.Caption
Label_scan9.Enabled = True
Scan_paquete9 = Form1.PAQUETE

Else

If Dato_scan10.Visible = False Then
L_scan10.Visible = True
Dato_scan10.Visible = True
Dato_scan10.Caption = Frecuencia.Caption & Modo.Caption & Filtro.Caption
Scan_paquete10 = Form1.PAQUETE

Label_scan10.Enabled = True

End If

```

```

End If
End If
End If
End If
End If
End If
End If
End If
End If
End Sub

```

```

Private Sub Form_Load()
    contador = 0 'inicialización variable que se utiliza para saber numero de escaneo a realizar
    bucle = 0
    Combo1.AddItem 2
    Combo1.AddItem 3
    Combo1.AddItem 4
    Combo1.AddItem 5
    Combo1.AddItem 10
    Combo1.AddItem 20
    Combo1.AddItem 30
    Combo1.AddItem 40
    Combo1.AddItem 50
    Combo1.AddItem 60

```

```

Combo1.ListIndex = 0
tiempo = CInt(Val((Combo1.List(Combo1.ListIndex))))
Label1.Caption = tiempo & " segundos"
End Sub

```

```

Private Sub Label32_Click()
    Form4.Enabled = False
    Form1.Auto_Escaneo = False
End Sub

```

```

Private Sub Timer1_Timer()
    Frecuencia.Caption = PAQUETE = Form1.PAQUETE
    PAQUETE = Form1.PAQUETE
    Frecuencia.Caption = Mid(PAQUETE, 3, 1) & " GHz " & Mid(PAQUETE, 4, 3) & " MHz " & Mid(PAQUETE, 7, 3) & " kHz " &
    Mid(PAQUETE, 10, 3) & " Hz "
    Modo.Caption = Form1.Modo
    Filtro.Caption = Form1.Ancho_banda
End Sub

```

```

Private Sub Timer5_Timer()
    ' Text1.Text = bucle
    ' Text2.Text = contador
    Form1.Picture2.Scale ((Form1.N_FFT / 2), 85)-((Form1.N_FFT / 2) * (contador + 1), -3)
    If (bucle = contador) Then

```

```

        Label_scan1.Visible = False
        Label_scan2.Visible = False
        Label_scan3.Visible = False
        Label_scan4.Visible = False
        Label_scan5.Visible = False
        Label_scan6.Visible = False
        Label_scan7.Visible = False
        Label_scan8.Visible = False
        Label_scan9.Visible = False
        Label_scan10.Visible = False
        bucle = 0
    Else

```

```
If ((bucle < contador) And (Label_scan1.Visible = False) And (Label_scan2.Visible = False) And (Label_scan3.Visible = False) And
(Label_scan4.Visible = False) And (Label_scan5.Visible = False) And (Label_scan6.Visible = False) And (Label_scan7.Visible = False)
And (Label_scan8.Visible = False) And (Label_scan9.Visible = False) And (Label_scan10.Visible = False)) Then
```

```
    bucle = bucle + 1
```

```
Form1.MSComm1.Output = Scan_paquete1 & Chr$(13) & Chr$(10)
Label_scan1.Visible = True
```

```
'Label_scan2.Visible = False
'Label_scan3.Visible = False
'Label_scan4.Visible = False
'Label_scan5.Visible = False
'Label_scan6.Visible = False
'Label_scan7.Visible = False
'Label_scan8.Visible = False
'Label_scan9.Visible = False
'Label_scan10.Visible = False
```

```
Else
```

```
If ((bucle < contador) And (Label_scan1.Visible = True) And (Label_scan2.Visible = False) And (Label_scan3.Visible = False) And
(Label_scan4.Visible = False) And (Label_scan5.Visible = False) And (Label_scan6.Visible = False) And (Label_scan7.Visible = False)
And (Label_scan8.Visible = False) And (Label_scan9.Visible = False) And (Label_scan10.Visible = False)) Then
```

```
    bucle = bucle + 1
```

```
Form1.MSComm1.Output = Scan_paquete2 & Chr$(13) & Chr$(10)
```

```
Label_scan1.Visible = False
Label_scan2.Visible = True
'Label_scan3.Visible = False
'Label_scan4.Visible = False
'Label_scan5.Visible = False
'Label_scan6.Visible = False
'Label_scan7.Visible = False
'Label_scan8.Visible = False
'Label_scan9.Visible = False
'Label_scan10.Visible = False
```

```
Else
```

```
If ((bucle < contador) And (Label_scan2.Visible = True) And (Label_scan1.Visible = False) And (Label_scan3.Visible = False) And
(Label_scan4.Visible = False) And (Label_scan5.Visible = False) And (Label_scan6.Visible = False) And (Label_scan7.Visible = False)
And (Label_scan8.Visible = False) And (Label_scan9.Visible = False) And (Label_scan10.Visible = False)) Then
```

```
Form1.MSComm1.Output = Scan_paquete3 & Chr$(13) & Chr$(10)
bucle = bucle + 1
```

```
'Label_scan1.Visible = False
Label_scan2.Visible = False
Label_scan3.Visible = True
'Label_scan4.Visible = False
'Label_scan5.Visible = False
'Label_scan6.Visible = False
'Label_scan7.Visible = False
'Label_scan8.Visible = False
'Label_scan9.Visible = False
'Label_scan10.Visible = False
```

```
Else
```

```
If ((bucle < contador) And (Label_scan3.Visible = True) And (Label_scan1.Visible = False) And (Label_scan2.Visible = False) And
(Label_scan4.Visible = False) And (Label_scan5.Visible = False) And (Label_scan6.Visible = False) And (Label_scan7.Visible = False)
And (Label_scan8.Visible = False) And (Label_scan9.Visible = False) And (Label_scan10.Visible = False)) Then
```

```
    bucle = bucle + 1
```

```
Form1.MSComm1.Output = Scan_paquete4 & Chr$(13) & Chr$(10)
```

```
'Label_scan1.Visible = False
'Label_scan2.Visible = False
```

```

Label_scan3.Visible = False
Label_scan4.Visible = True
'Label_scan5.Visible = False
'Label_scan6.Visible = False
'Label_scan7.Visible = False
'Label_scan8.Visible = False
'Label_scan9.Visible = False
'Label_scan10.Visible = False

Else
If ((bucle < contador) And (Label_scan4.Visible = True) And (Label_scan1.Visible = False) And (Label_scan2.Visible = False) And
(Label_scan3.Visible = False) And (Label_scan5.Visible = False) And (Label_scan6.Visible = False) And (Label_scan7.Visible = False)
And (Label_scan8.Visible = False) And (Label_scan9.Visible = False) And (Label_scan10.Visible = False)) Then

bucle = bucle + 1

Form1.MSComm1.Output = Scan_paquete5 & Chr$(13) & Chr$(10)
'Label_scan1.Visible = False
'Label_scan2.Visible = False
'Label_scan3.Visible = False
Label_scan4.Visible = False
Label_scan5.Visible = True
'Label_scan6.Visible = False
'Label_scan7.Visible = False
'Label_scan8.Visible = False
'Label_scan9.Visible = False
'Label_scan10.Visible = False

Else
If ((bucle < contador) And (Label_scan5.Visible = True) And (Label_scan1.Visible = False) And (Label_scan2.Visible = False) And
(Label_scan3.Visible = False) And (Label_scan4.Visible = False) And (Label_scan6.Visible = False) And (Label_scan7.Visible = False)
And (Label_scan8.Visible = False) And (Label_scan9.Visible = False) And (Label_scan10.Visible = False)) Then

bucle = bucle + 1

Form1.MSComm1.Output = Scan_paquete6 & Chr$(13) & Chr$(10)
'Label_scan1.Visible = False
'Label_scan2.Visible = False
'Label_scan3.Visible = False
'Label_scan4.Visible = False
Label_scan5.Visible = False
Label_scan6.Visible = True
'Label_scan7.Visible = False
'Label_scan8.Visible = False
'Label_scan9.Visible = False
'Label_scan10.Visible = False

Else
If ((bucle < contador) And (Label_scan6.Visible = True) And (Label_scan1.Visible = False) And (Label_scan2.Visible = False) And
(Label_scan3.Visible = False) And (Label_scan4.Visible = False) And (Label_scan5.Visible = False) And (Label_scan7.Visible = False)
And (Label_scan8.Visible = False) And (Label_scan9.Visible = False) And (Label_scan10.Visible = False)) Then

bucle = bucle + 1

Form1.MSComm1.Output = Scan_paquete7 & Chr$(13) & Chr$(10)
'Label_scan1.Visible = False
'Label_scan2.Visible = False
'Label_scan3.Visible = False
'Label_scan4.Visible = False
'Label_scan5.Visible = False
Label_scan6.Visible = False
Label_scan7.Visible = True
'Label_scan8.Visible = False
'Label_scan9.Visible = False
'Label_scan10.Visible = False

```



```

Else
    If ((bucle < contador) And (Label_scan7.Visible = True) And (Label_scan1.Visible = False) And (Label_scan2.Visible = False) And
(Label_scan3.Visible = False) And (Label_scan4.Visible = False) And (Label_scan5.Visible = False) And (Label_scan6.Visible = False)
And (Label_scan8.Visible = False) And (Label_scan9.Visible = False) And (Label_scan10.Visible = False)) Then

        bucle = bucle + 1

        Form1.MSComm1.Output = Scan_paquete8 & Chr$(13) & Chr$(10)
        'Label_scan1.Visible = False
        'Label_scan2.Visible = False
        'Label_scan3.Visible = False
        'Label_scan4.Visible = False
        'Label_scan5.Visible = False
        'Label_scan6.Visible = False
        Label_scan7.Visible = False
        Label_scan8.Visible = True
        'Label_scan9.Visible = False
        'Label_scan10.Visible = False

Else
    If ((bucle < contador) And (Label_scan8.Visible = True) And (Label_scan1.Visible = False) And (Label_scan2.Visible = False) And
(Label_scan3.Visible = False) And (Label_scan4.Visible = False) And (Label_scan5.Visible = False) And (Label_scan6.Visible = False)
And (Label_scan7.Visible = False) And (Label_scan9.Visible = False) And (Label_scan10.Visible = False)) Then

        bucle = bucle + 1

        Form1.MSComm1.Output = Scan_paquete9 & Chr$(13) & Chr$(10)
        'Label_scan1.Visible = False
        'Label_scan2.Visible = False
        'Label_scan3.Visible = False
        'Label_scan4.Visible = False
        'Label_scan5.Visible = False
        'Label_scan6.Visible = False
        'Label_scan7.Visible = False
        Label_scan8.Visible = False
        Label_scan9.Visible = True
        'Label_scan10.Visible = False

Else
    If ((bucle < contador) And (Label_scan9.Visible = True) And (Label_scan1.Visible = False) And (Label_scan2.Visible = False) And
(Label_scan3.Visible = False) And (Label_scan4.Visible = False) And (Label_scan5.Visible = False) And (Label_scan6.Visible = False)
And (Label_scan7.Visible = False) And (Label_scan8.Visible = False) And (Label_scan10.Visible = False)) Then

        bucle = bucle + 1

        Form1.MSComm1.Output = Scan_paquete10 & Chr$(13) & Chr$(10)
        'Label_scan1.Visible = False
        'Label_scan2.Visible = False
        'Label_scan3.Visible = False
        'Label_scan4.Visible = False
        'Label_scan5.Visible = False
        'Label_scan6.Visible = False
        'Label_scan7.Visible = False
        'Label_scan8.Visible = False
        Label_scan9.Visible = False
        Label_scan10.Visible = True

Else
    If ((bucle < contador) And (Label_scan1.Visible = False) And (Label_scan2.Visible = False) And (Label_scan3.Visible = False) And
(Label_scan4.Visible = False) And (Label_scan5.Visible = False) And (Label_scan6.Visible = False) And (Label_scan7.Visible = False)
And (Label_scan8.Visible = False) And (Label_scan9.Visible = False)) Then

```

```
bucle = bucle + 1
```

```
Form1.MSComm1.Output = Scan_paquete1 & Chr$(13) & Chr$(10)
```

```
Label_scan1.Visible = True
```

```
Label_scan2.Visible = False
```

```
Label_scan3.Visible = False
```

```
Label_scan4.Visible = False
```

```
Label_scan5.Visible = False
```

```
Label_scan6.Visible = False
```

```
Label_scan7.Visible = False
```

```
Label_scan8.Visible = False
```

```
Label_scan9.Visible = False
```

```
Label_scan10.Visible = False
```

```
End If
```

```
End If
```

```
End If
```

```
End If
```

```
End If
```

```
End If
```

```
End If
```

```
End If
```

```
End If
```

```
End If
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```

'=====

' MOHAMMED BAKKALIMODULO GESTIÓN CAPTURA
' LAST UPDATE 26/06/2015
'*****

Option Explicit

Public N_FFT As Integer
Public MAXIMO_FFT As Single
Private Num_Muestras_Mi_BUFFER As Long

Global BUFFER_Duracion As Single

Public GANANCIA As Double
Public GUARDAR_CAPTURA As Boolean
Public DATOS_GRABADOS As Long
Public SPCTRUM_FFT() As Single

Public GANANCIA_CANAL_L As Double
Public GANANCIA_CANAL_R As Double

Public FICHERO As Boolean
Public FUNCION_Boost As Double
Public ACTIVAR_FFT As Boolean
Public Filtrado As Boolean

Public Freq_Filtro As Boolean
Public Aplicar_Filtro As Boolean
Global FS As Long
Global Valor_Filtro As Double

Global FILTER_FRQ As Double
Global FILTER_BW As Double
Private Const FILTER_DB = -50

Private Const WHDR_BEGINLOOP = &H4
Private Const WHDR_DONE = &H1
Private Const WHDR_ENDLOOP = &H8
Private Const WHDR_INQUEUE = &H10
Private Const WHDR_PREPARED = &H2
Private Const WHDR_VALID = &H1F

Type WAVEFORMAT
    wFormatTag As Integer
    nChannels As Integer
    nSamplesPerSec As Long
    nAvgBytesPerSec As Long
    nBlockAlign As Integer
    wBitsPerSample As Integer
    cbSize As Integer
End Type

Type WAVEHDR
    DATOS_BUF As Long
    LONGITUD_BUFFER As Long
    BYTES_GUARDAR As Long
    dwUser As Long
    dwFlags As Long
    dwLoops As Long
    lpNext As Long
    Reserved As Long
End Type
Private Const WHDR_LEN = 32

```

```
Type WAVEINCAPS
  wMid As Integer
  wPid As Integer
  vDriverVersion As Long
  szPname As String * 32
  dwFormats As Long
  wChannels As Integer
End Type
```

```
Type MMTIEMPO
  wType As Long
  u As Long
End Type
```

```
Private MI_BUFFER(0 To 32767) As Integer
```

```
Private BUFFER_INTERNO(0 To 1) As WAVEHDR
Public DISPOSITIVO_AUDIO As Long
Private VAR_AUDIO As Long
```

```
Private PAR_0 As Double, PAR_1 As Double, PAR_2 As Double, PAR_3 As Double, PAR_4 As Double
Private KK1 As Double, KK2 As Double, KKY1 As Double, KKY2 As Double
Private PAR_W0 As Double, PAR_W1 As Double, PAR_W2 As Double, PAR_W3 As Double, PAR_W4 As Double
Private PAR_X1 As Double, PAR_X2 As Double, PAR_Y1 As Double, PAR_Y2 As Double
```

```
Public FUNC_VENTANA() As Single
```

```
Declare Sub CopyMemory Lib "kernel32" Alias "RtlMoveMemory" (pDst As Any, pSrc As Any, ByVal ByteLen As Long)
Declare Sub ZeroMemory Lib "kernel32.dll" Alias "RtlZeroMemory" (Destination As Any, ByVal Length As Long)
```

```
Declare Function waveInGetNumDevs Lib "winmm.dll" () As Long
Declare Function waveInGetDevCaps Lib "winmm.dll" Alias "waveInGetDevCapsA" (ByVal uDeviceID As Long, lpCaps As WAVEINCAPS, ByVal uSize As Long) As Long
```

```
Declare Function waveInOpen Lib "winmm.dll" (lpWaveIn As Long, ByVal uDeviceID As Long, lpFormat As WAVEFORMAT, ByVal dwCallback As Long, ByVal dwInstance As Long, ByVal dwFlags As Long) As Long
Declare Function waveInReset Lib "winmm.dll" (ByVal hWaveIn As Long) As Long
Declare Function waveInStop Lib "winmm.dll" (ByVal hWaveIn As Long) As Long
Declare Function waveInStart Lib "winmm.dll" (ByVal hWaveIn As Long) As Long
Declare Function waveInClose Lib "winmm.dll" (ByVal hWaveIn As Long) As Long
```

```
Declare Function waveInPrepareHeader Lib "winmm.dll" (ByVal hWaveIn As Long, lpWaveInHdr As WAVEHDR, ByVal uSize As Long) As Long
Declare Function waveInUnprepareHeader Lib "winmm.dll" (ByVal hWaveIn As Long, lpWaveInHdr As WAVEHDR, ByVal uSize As Long) As Long
Declare Function waveInAddBuffer Lib "winmm.dll" (ByVal hWaveIn As Long, lpWaveInHdr As WAVEHDR, ByVal uSize As Long) As Long
Declare Function waveInGetPosition Lib "winmm.dll" (ByVal hWaveIn As Long, lpInfo As MMTIEMPO, ByVal uSize As Long) As Long
```

```
Declare Function waveInMessage Lib "winmm.dll" (ByVal hWaveIn As Long, ByVal msg As Long, ByVal dw1 As Long, ByVal dw2 As Long) As Long
Declare Function waveInGetErrorText Lib "winmm.dll" Alias "waveInGetErrorTextA" (ByVal err As Long, ByVal lpText As String, ByVal uSize As Long) As Long
```

```
Private DISPOSITIVO_UTILIZADO As WAVEFORMAT
Private FUNC_UTILIZADO As String
Private LastOffset As Long
Public SENAL() As Single
Public TEMPORAL() As Single
```

```
Public Function INICIALIZACION(ByRef BUFFER_Duracion As Single, ByRef FS As Long, ByRef Freq_Filtro As Boolean, ByRef Aplicar_Filtro As Boolean, ByRef Valor_Filtro As Double, Optional FILTER_FRQ As Double = 5, Optional FILTER_BW As Double = 3)
```

```
'Public Function INICIALIZACION(ByRef BUFFER_Duracion As Integer, ByRef FS As Long, ByRef Freq_Filtro As Boolean, ByRef
Aplicar_Filtro As Boolean, ByRef Valor_Filtro As Double, Optional FILTER_FRQ As Double = 5, Optional FILTER_BW As Double = 3)
```

```
CAPTURA.FS = FS
CAPTURA.Freq_Filtro = Freq_Filtro
CAPTURA.Aplicar_Filtro = Aplicar_Filtro
CAPTURA.Valor_Filtro = Valor_Filtro
CAPTURA.FILTER_FRQ = FILTER_FRQ
CAPTURA.FILTER_BW = FILTER_BW
BUFFER_Duracion = BUFFER_Duracion
```

```
End Function
Function GetInDev(NameList() As String) As Long
Dim BufLng As Long
Dim exeAPI As Long
Dim CntDev As Long
Dim Temp As WAVEINCAPS
Dim i As Long
```

```
CntDev = waveInGetNumDevs
```

```
If CntDev = 0 Then
    GetInDev = 0
    Exit Function
Else
```

```
    ReDim NameList(CntDev) As String
    BufLng = 46
    For i = 1 To CntDev
        Temp.szPname = ""
        exeAPI = waveInGetDevCaps(i - 1, Temp, BufLng)
```

```
        NameList(i) = Left$(Temp.szPname, InStr(1, Temp.szPname, Chr$(0), vbBinaryCompare) - 1)
```

```
    Next i
    GetInDev = CntDev
End If
```

```
End Function
Function CAPTURAR(Optional stereo As Boolean = False, Optional frq As Long = 22050, Optional Valor_Filtro As Double, Optional
BUFFER_Duracion As Single) As Boolean
```

```
'Function CAPTURAR(Optional stereo As Boolean = False, Optional frq As Long = 22050, Optional valor_filtro As Double, Optional
BUFFER_Duracion As Integer) As Boolean
```

```
Dim FORMATO_AUDIO As WAVEFORMAT
Dim i As Long, rc As Long, Num_Byte_Mi_BUFFER As Long
Dim msg As String * 200
Dim N_FFT As Integer
N_FFT = Form1.N_FFT
If GUARDAR_CAPTURA Then
    'quitte la fonction si un enregistrement est en cours
    CAPTURAR = True
    Exit Function
End If
```

```
'indique le format d'enregistrement
FORMATO_AUDIO.wFormatTag = 1
FORMATO_AUDIO.nChannels = 1 ' If(stereo, 2, 1)
FORMATO_AUDIO.wBitsPerSample = 16 'cambio de 16 a 8 rare sont ceux qui utilisent 8 bits, plus rare encore 24 bits!
FORMATO_AUDIO.nSamplesPerSec = FS
FORMATO_AUDIO.nBlockAlign = FORMATO_AUDIO.nChannels * FORMATO_AUDIO.wBitsPerSample \ 8&
FORMATO_AUDIO.nAvgBytesPerSec = FORMATO_AUDIO.nSamplesPerSec * FORMATO_AUDIO.nBlockAlign
FORMATO_AUDIO.cbSize = 0
DISPOSITIVO_UTILIZADO = FORMATO_AUDIO
```

```
'prépare les identifiants de buffer
ZeroMemory MI_BUFFER(0), 65535 '16 bits 2^16=65535
ZeroMemory MI_BUFFER(0), 32768
```

```
'(FORMATO_AUDIO.nSamplesPerSec * BUFFER_Duracion \ 1000&) es El numero de muestras a tratar
'(numero de puntos que contiene el MS_Buffer)
' 1 muestra = 16 bits = es el parametros wBitsPerSample
```

```

' nBlockAlign = 16/8 = 2 Bytes = wBitsPerSample/8
' --> Num_Byte_Mi_BUFFER es el numero de Byte dentro de MI_BUFFER

' Num_Byte_Mi_BUFFER = FORMATO_AUDIO.nBlockAlign * (FORMATO_AUDIO.nSamplesPerSec * BUFFER_Duracion \ 1000&)
'dois etre multiple de nBlockAlign
' Num_Muestras_Mi_BUFFER = FORMATO_AUDIO.nSamplesPerSec * BUFFER_Duracion \ 1000&
' Form1.Text3.Text = Num_Muestras_Mi_BUFFER

Num_Byte_Mi_BUFFER = N_FFT * FORMATO_AUDIO.nBlockAlign
Num_Muestras_Mi_BUFFER = N_FFT
' For i = 0 To 1
'   BUFFER_INTERNO(i).DATOS_BUF = VarPtr(MI_BUFFER(0 + i * 16384))
'   BUFFER_INTERNO(i).LONGITUD_BUFFER = Num_Byte_Mi_BUFFER
'   BUFFER_INTERNO(i).dwFlags = 0
'   BUFFER_INTERNO(i).dwLoops = 0
' Next

'BUFFER 1
BUFFER_INTERNO(0).DATOS_BUF = VarPtr(MI_BUFFER(0))
BUFFER_INTERNO(0).LONGITUD_BUFFER = Num_Byte_Mi_BUFFER * 2
BUFFER_INTERNO(0).dwFlags = 0
BUFFER_INTERNO(0).dwLoops = 0
'BUFFER2
BUFFER_INTERNO(1).DATOS_BUF = VarPtr(MI_BUFFER(Num_Muestras_Mi_BUFFER))
BUFFER_INTERNO(1).LONGITUD_BUFFER = Num_Byte_Mi_BUFFER * 2
BUFFER_INTERNO(1).dwFlags = 0
BUFFER_INTERNO(1).dwLoops = 0

'prépare la fenêtre FFT
' If Num_Byte_Mi_BUFFER > N_FFT Then
'   ReDim SENAL(0 To Num_Byte_Mi_BUFFER)
'   ReDim TEMPORAL(0 To Num_Byte_Mi_BUFFER)
' Else
'   ReDim SENAL(0 To N_FFT)
'   ReDim TEMPORAL(0 To N_FFT)
' End If

'prépare le filtre passe-haut (ici utilisé pour couper les infra-basses)
FILTRAR FILTER_FRQ, FILTER_BW, -50, Valor_Filtro

'TAREA 1
'Opening the device tarjeta de sonido
rc = waveInOpen(VAR_AUDIO, DISPOSITIVO_AUDIO, FORMATO_AUDIO, 0, 0, 0)
If rc <> 0 Then
    waveInGetErrorText rc, msg, Len(msg)
    MsgBox msg
    CAPTURAR = False
    Exit Function
End If

'TAREA 2
'indique les buffers à utilisé
rc = waveInPrepareHeader(VAR_AUDIO, BUFFER_INTERNO(0), WHDR_LEN)
rc = waveInPrepareHeader(VAR_AUDIO, BUFFER_INTERNO(1), WHDR_LEN) 'NO ESTA BIEN IMPLEMENTADO
If (rc <> 0) Then
    waveInGetErrorText rc, msg, Len(msg)
    MsgBox msg
End If

'TAREA 3
'ordonne les buffers à remplir
rc = waveInAddBuffer(VAR_AUDIO, BUFFER_INTERNO(0), WHDR_LEN)
rc = waveInAddBuffer(VAR_AUDIO, BUFFER_INTERNO(1), WHDR_LEN) 'NO ESTA BIEN IMPLEMENTADO
If (rc <> 0) Then
    waveInGetErrorText rc, msg, Len(msg)
    MsgBox msg
End If

'TAREA 4
rc = waveInStart(VAR_AUDIO)

```

```

GUARDAR_CAPTURA = True
CAPTURAR = True

End Function

Function Actualizar() As Boolean
Dim i As Long, rc As Long
Dim uo As Long, ul As Long
If GUARDAR_CAPTURA Then
    If BUFFER_INTERNO(0).dwFlags And &H1 Then 'Si el Buffer 0 esta lleno
        uo = 0
        ul = BUFFER_INTERNO(0).LONGITUD_BUFFER \ 2 & 'VERIFICAR PORQUE \2
        If ACTIVAR_FFT Then HACER_FFT uo, ul

        rc = wavInAddBuffer(VAR_AUDIO, BUFFER_INTERNO(0), WHDR_LEN)
        Actualizar = True
    End If

    If BUFFER_INTERNO(1).dwFlags And &H1 Then 'Si el Buffer 1 esta lleno
        uo = Num_Muestras_Mi_BUFFER
        ul = BUFFER_INTERNO(1).LONGITUD_BUFFER \ 2 &
        If ACTIVAR_FFT Then HACER_FFT uo, ul
        rc = wavInAddBuffer(VAR_AUDIO, BUFFER_INTERNO(1), WHDR_LEN)
        Actualizar = True
    End If
Else
    End If
End Function

Private Sub HACER_FFT(ofs As Long, ByVal iBl As Long)
'realise l'analyse spectrale du signal enregistré
Dim i As Long, p As Long
Dim N_FFT As Integer
N_FFT = Form1.N_FFT
ReDim Preserve SPECTRUM_FFT(N_FFT)
ReDim Preserve SENAL(N_FFT) 'modificacion MED 2013/05/18
ReDim Preserve TEMPORAL(N_FFT) 'modificacion MED 2013/05/18
ReDim Preserve FUNC_VENTANA(0 To N_FFT) 'modificacion MED 2013/05/18

'ReDim SPECTRUM_FFT(0 To N_FFT - 1) As Single
'la transformé est sur N_FFT points.
'si le buffer contient plus de N_FFT points, le surplus est ignoré !

If DISPOSITIVO_UTILIZADO.nChannels = 1 Then 'mono
ReDim Preserve FUNC_VENTANA(N_FFT)
'applique un fenêtrage temporel non carré
p = 0
For i = ofs To (ofs + (N_FFT - 1))
    SENAL(p) = MI_BUFFER(i)
    TEMPORAL(p) = MI_BUFFER(i) * FUNC_VENTANA(p)
    p = p + 1
Next i

'AudioFFT.FFTAudio TEMPORAL(), SPECTRUM_FFT()

Mo_FFT.FFT N_FFT, TEMPORAL(), SPECTRUM_FFT()
If (Form1.Magnitud = True) Then

    For i = 0 To (N_FFT - 1)
        'Magnitude
        SPECTRUM_FFT(i) = Abs(SPECTRUM_FFT(i)) / (N_FFT / 2)
    Next i
Else

If (Form1.Power_normalised = True) Then
    MAXIMO_FFT = Form1.MAXIMO_FFT
    For i = 0 To (N_FFT - 1)
        'Normalized POWER in dB

        SPECTRUM_FFT(i) = 20 * Log(Abs(SPECTRUM_FFT(i)) / Abs(MAXIMO_FFT))
    Next i
End If
End If
End Sub

```

```

        Next i
    Else
    If (Form1.power = True) Then
        Form1.Label47.Caption = "POTENCIA (dB)"
        'dynamique dB
        For i = 0 To (N_FFT - 1)
            'SPCTRUM_FFT(i) = 20 * (Log(Abs(SPCTRUM_FFT(i) * 0.001) + 1) * 0.434294481903252)

            SPCTRUM_FFT(i) = 20 * (Log(Abs(SPCTRUM_FFT(i) * 0.001) + 1))
            'SPCTRUM_FFT(i) = Abs(SPCTRUM_FFT(i)) * (2 / N_FFT)
            'SPCTRUM_FFT(i) = 20 * Log(Abs(SPCTRUM_FFT(i)) / (SPCTRUM_FFT(0) + 1))

        Next i
    End If
End If
End If
End If

End If
End Sub

Public Sub AJUSTAR_NOMBRE(filename As String)

    WaveFile_Prepare filename, DISPOSITIVO_UTILIZADO

End Sub

Private Sub WaveFile_Prepare(filename As String, wfFormat As WAVEFORMAT)
'crée un fichier WAV vide
Dim fp As Integer

fp = FreeFile
If Dir(filename) <> "" Then Kill filename 'purge
Open filename For Binary As #fp
    Put #fp, 1, &H46464952 'RIFF
    Put #fp, 5, 38&
    Put #fp, 9, &H45564157 'WAVE
    Put #fp, 13, &H20746D66 'fmt
    Put #fp, 17, &H12&
    Put #fp, 21, wfFormat
    Put #fp, 39, &H61746164 'data
    Put #fp, 43, &H0&
    Put #fp, 47, &H0&
Close #fp

LastOffset = 47
DATOS_GRABADOS = 0
FUNC_UTILIZADO = filename

End Sub

Private Function WaveFile_AddData(ByVal MemPtr As Long, ByVal LenToCpy As Long) As Boolean
'écrit le dernier échantillon enregistré, mets à jour le fichier WAV.
'pour éviter la perte de donnée/crash, on local error absorbe tout incidents.
Dim fp As Integer, lf As Long
Dim bBuf() As Byte

ReDim bBuf(1 To LenToCpy)
CopyMemory bBuf(1), ByVal MemPtr, LenToCpy

fp = FreeFile
lf = LastOffset + LenToCpy

On Local Error GoTo WriteFail

Open FUNC_UTILIZADO For Binary As #fp
    Put #fp, 5, lf - 9
    Put #fp, 43, lf - 45

```



```

    Put #fp, LastOffset, bBuf
    Close #fp

    LastOffset = LastOffset + LenToCpy

    WaveFile_AddData = True
    Exit Function

WriteFail:
    err.Clear
    WaveFile_AddData = False

End Function

Sub CALCULAR_VENTANA(Optional ByVal Laquelle As Long = 0)
    Dim i As Long, N_FFT As Integer
    Dim dCycle As Double
    N_FFT = Form1.N_FFT
    ReDim Preserve FUNC_VENTANA(0 To N_FFT)
    For i = 0 To (N_FFT - 1)
        dCycle = (6.28318530717959 * i) / N_FFT

        Select Case Laquelle
            Case 0 'Cuadrada
                FUNC_VENTANA(i) = 1

            Case 1 'Hamming
                FUNC_VENTANA(i) = (0.53836 - 0.46164 * Cos(dCycle))

            Case 2 'Blackman
                FUNC_VENTANA(i) = (0.42 - 0.5 * Cos(dCycle) + 0.08 * Cos(dCycle * 2))

            Case 3 'Blackman-harris
                FUNC_VENTANA(i) = (0.35875 - 0.48829 * Cos(dCycle) + 0.14128 * Cos(dCycle * 2) - 0.01168 * Cos(dCycle * 3))

            Case 4 'triangular
                FUNC_VENTANA(i) = 2 / N_FFT * (N_FFT / 2 - Abs(i - (N_FFT - 1) / 2))

            Case 10 'Kaiser
                'GoSub Bessel
                'FUNC_VENTANA(i) = (y * 8 * Sqr(1 - (2 * i / N - 1) ^ 2)) / y

            Case Else 'Hanning
                FUNC_VENTANA(i) = 0.5 * (1 - Cos(dCycle))

        End Select
    Next i

Exit Sub

Bessel:
    Dim y As Double

    y = dCycle / 3.75
    y = y * y
    y = 1# + y * (3.5156229 + y * (3.0899424 + y * (1.2067492 + y * (0.2659732 + y * (0.0360768 + y * (0.0045813))))))
    Return

End Sub

Private Function NORMALIZAR(ofs As Long, ByVal iBl As Long, dBboost As Double) As Double
    Dim spMax As Long
    Dim i As Long
    Dim BoostCoef As Double

    BoostCoef = 10 ^ (dBboost * 0.05)

    If GUARDAR_CAPTURA Then

```

```

Select Case DISPOSITIVO_UTILIZADO.wBitsPerSample

Case 16
  For i = ofs To ofs + iBl - 1
    spMax = CDbI(MI_BUFFER(i)) * BoostCoef
    If spMax > 32767 Then

      MI_BUFFER(i) = 32767

    ElseIf spMax < -32768 Then

      MI_BUFFER(i) = -32768

    Else
      MI_BUFFER(i) = spMax
    End If

  Next i

End Select
End If

End Function

Private Function NIVEL_CALC(ofs As Long, ByVal iBl As Long) As Double

Dim spAbs As Long, spAbs2 As Long, spMax As Long
Dim spMaxL As Long, spMaxR As Long
Dim i As Long
spMax = 1

If DISPOSITIVO_UTILIZADO.nChannels = 1 Then 'mono

  Select Case DISPOSITIVO_UTILIZADO.wBitsPerSample
  Case 8
    For i = ofs To ofs + iBl
      spAbs = Abs((CLng(MI_BUFFER(i)) And &HFF&) - 127)
      spAbs2 = Abs((CLng(MI_BUFFER(i)) And &HFF00&) \ 256& - 127)
      If spMax < spAbs Then spMax = spAbs
      If spMax < spAbs2 Then spMax = spAbs2
    Next i
    NIVEL_CALC = -42.14 + 20 * (Log(spMax) * 0.434294481903252)

  Case 16
    For i = ofs To ofs + iBl
      spAbs = Abs(CLng(MI_BUFFER(i)))
      If spMax < spAbs Then spMax = spAbs
    Next i
    NIVEL_CALC = -90.3089 + 20 * (Log(spMax) * 0.434294481903252)

  Case 24

  Case 32
  End Select

Else

  For i = ofs To ofs + iBl Step 2
    spAbs = Abs(CLng(MI_BUFFER(i)))
    spAbs2 = Abs(CLng(MI_BUFFER(i + 1)))
    If spMaxL < spAbs Then spMaxL = spAbs
    If spMaxR < spAbs2 Then spMaxR = spAbs2
  Next i
  GANANCIA_CANAL_L = -90.3089 + 20 * (Log(spMaxL) * 0.434294481903252)
  GANANCIA_CANAL_R = -90.3089 + 20 * (Log(spMaxR) * 0.434294481903252)
  If spMaxR > spMaxL Then
    NIVEL_CALC = GANANCIA_CANAL_R
  Else
    NIVEL_CALC = GANANCIA_CANAL_L
  End If

```

End If

End Function

Private Sub FILTRAR(ofs As Long, ByVal iBl As Long)

Dim sample As Double, result As Double

Dim smp2 As Double, res2 As Double

Dim i As Long

If DISPOSITIVO\_UTILIZADO.nChannels = 1 Then 'mono

For i = ofs To ofs + iBl - 1

sample = MI\_BUFFER(i) \* 3.05185094759972E-05 ' 1 / 32767

result = PAR\_0 \* sample + PAR\_1 \* KK1 + PAR\_2 \* KK2 - PAR\_3 \* KKY1 - PAR\_4 \* KKY2

KK2 = KK1

KK1 = sample

KKY2 = KKY1

KKY1 = result

If result > 1# Then

MI\_BUFFER(i) = 32767

Elseif result < -1 Then

MI\_BUFFER(i) = -32768

Else

MI\_BUFFER(i) = CInt(result \* 32767)

End If

Next i

Else 'stéréo

For i = ofs To ofs + iBl - 2 Step 2

sample = MI\_BUFFER(i) \* 3.05185094759972E-05

smp2 = MI\_BUFFER(i + 1) \* 3.05185094759972E-05

result = PAR\_0 \* sample + PAR\_1 \* KK1 + PAR\_2 \* KK2 - PAR\_3 \* KKY1 - PAR\_4 \* KKY2

res2 = PAR\_W0 \* smp2 + PAR\_W1 \* PAR\_X1 + PAR\_W2 \* PAR\_X2 - PAR\_W3 \* PAR\_Y1 - PAR\_W4 \* PAR\_Y2

KK2 = KK1

KK1 = sample

KKY2 = KKY1

KKY1 = result

PAR\_X2 = PAR\_X1

PAR\_X1 = smp2

PAR\_Y2 = PAR\_Y1

PAR\_Y1 = res2

If result > 1# Then

MI\_BUFFER(i) = 32767

Elseif result < -1 Then

MI\_BUFFER(i) = -32768

Else

MI\_BUFFER(i) = CInt(result \* 32767)

End If

If res2 > 1# Then

MI\_BUFFER(i + 1) = 32767

Elseif res2 <= -1 Then

MI\_BUFFER(i + 1) = -32768

Else

MI\_BUFFER(i + 1) = CInt(res2 \* 32767)

End If

Next i

```
End If
End Sub
```

```
Private Sub FILTRAR(uFilterFrq As Double, Optional Octave As Double = 3, Optional dBGain As Double = -50, Optional
DEBUG_FILTER As Double = 1)
```

```
Dim omega As Double, A As Double
Dim Alpha As Double, Beta As Double
Dim wsn As Double, wcs As Double
Dim a0 As Double, a1 As Double, a2 As Double
Dim b0 As Double, b1 As Double, b2 As Double
Dim TAng As Double
```

```
omega = 6.28318530717959 * (uFilterFrq) / DISPOSITIVO_UTILIZADO.nSamplesPerSec 'cycle, 2Pi
wsn = Sin(omega)
wcs = Cos(omega)
```

```
TAng = 0.346573590279973 * Octave * omega / wsn 'log(2)/2
```

```
Alpha = wsn * ((Exp(TAng) - Exp(-TAng)) * 0.5) 'sinus hyperbolique
```

```
A = 10 ^ (dBGain / 40)
Beta = Sqr(A + A)
```

```
If Valor_Filtro = 1 Then
```

```
b0 = (1 + wcs) / 2
b1 = -(1 + wcs)
b2 = (1 + wcs) / 2
a0 = 1 + Alpha
a1 = -2 * wcs
a2 = 1 - Alpha
```

```
Elseif Valor_Filtro = 2 Then
```

```
b0 = A * ((A + 1) - (A - 1) * wcs + Beta * wsn)
b1 = 2 * A * ((A - 1) - (A + 1) * wcs)
b2 = A * ((A + 1) - (A - 1) * wcs - Beta * wsn)
a0 = (A + 1) + (A - 1) * wcs + Beta * wsn
a1 = -2 * ((A - 1) + (A + 1) * wcs)
a2 = (A + 1) + (A - 1) * wcs - Beta * wsn
```

```
Elseif Valor_Filtro = 3 Then
```

```
b0 = 1 + (Alpha * A)
b1 = -2 * wcs
b2 = 1 - (Alpha * A)
a0 = 1 + (Alpha / A)
a1 = -2 * wcs
a2 = 1 - (Alpha / A)
```

```
Else
```

```
b0 = Alpha
b1 = 0
b2 = -Alpha
a0 = 1 + Alpha
a1 = -2 * wcs
a2 = 1 - Alpha
```

```
End If
```

```

PAR_0 = b0 / a0
PAR_1 = b1 / a0
PAR_2 = b2 / a0
PAR_3 = a1 / a0
PAR_4 = a2 / a0

KK1 = 0: KK2 = 0: KKY1 = 0: KKY2 = 0
PAR_X1 = 0: PAR_X2 = 0: PAR_Y1 = 0: PAR_Y2 = 0
PAR_W0 = PAR_0: PAR_W1 = PAR_1: PAR_W2 = PAR_2: PAR_W3 = PAR_3: PAR_W4 = PAR_4 'réplica pour second canal

End Sub

Sub PARAR_CAPTURA()
'PARAR LA CAPTURA
Dim i As Long

    GUARDAR_CAPTURA = False          ' A VERIFICAR QUIEN ES EL PRIMERO INRESET O UNPREPARHEADER?
    waveInReset VAR_AUDIO
    waveInStop VAR_AUDIO

    waveInUnprepareHeader VAR_AUDIO, BUFFER_INTERNO(0), WHDR_LEN
    waveInUnprepareHeader VAR_AUDIO, BUFFER_INTERNO(1), WHDR_LEN

    waveInClose VAR_AUDIO

End Sub

Private Sub waveInProc(ByVal hwi As Long, ByVal uMsg As Long, ByVal dwInstance As Long, ByRef hdr As WAVEHDR, ByVal dwParam2 As Long)
'callback, inutilisé

    If (uMsg = &H3C0) Then
        If GUARDAR_CAPTURA Then
            'Call waveInAddBuffer(hwi, hdr, Len(hdr))
        End If
    End If

End Sub

```

## FFT

```
Public Declare Function GetTickCount Lib "kernel32" () As Long
Public Declare Function sndPlaySound Lib "winmm.dll" Alias "sndPlaySoundA" (ByVal lpszSoundName As String, ByVal uFlags As Long) As Long
Public Declare Sub Sleep Lib "kernel32" (ByVal dwMilliseconds As Long)
```

```
Public Const Pi = 3.14159265358979
```

```
'La fonction FFT en elle même.
'N : puissance de 2 impérativement. Taille des données à traiter
'X : amplitude des N cosinus
'Y : amplitude des N sinus
Public Sub FFT(N As Integer, x() As Single, y() As Single)
```

```
    Dim A As Single, C As Single, E As Single
    Dim i As Long, J As Long, K As Long, L As Long, Puiss As Long
    Dim S As Single
    Dim N1 As Long, N2 As Long
    Dim Xt As Single, Yt As Single
```

```
    Puiss = Log(N) / Log(2)
```

```
    N2 = N
    For K = 1 To Puiss
        N1 = N2
        N2 = N2 / 2
        E = 2 * Pi / N1
        A = 0
        For J = 1 To N2
            C = Cos(A)
            S = Sin(A)
            A = J * E
            For i = J To N Step N1
                L = i + N2
                Xt = x(i - 1) - x(L - 1)
                x(i - 1) = x(i - 1) + x(L - 1)
                Yt = y(i - 1) - y(L - 1)
                y(i - 1) = y(i - 1) + y(L - 1)
                x(L - 1) = C * Xt + S * Yt
                y(L - 1) = C * Yt - S * Xt
            Next i
        Next J
    Next K
```

```
    J = 1
    N1 = N - 1
    For i = 1 To N1
        If i < J Then
            Xt = x(J - 1)
            x(J - 1) = x(i - 1)
            x(i - 1) = Xt
            Xt = y(J - 1)
            y(J - 1) = y(i - 1)
            y(i - 1) = Xt
        End If
        K = N / 2
        Do While K < J
            J = J - K
            K = K / 2
        Loop
        J = J + K
    Next i
```

```
End Sub
```

## **ANEXO 2: MEDICIONES**





## MEDICIONES

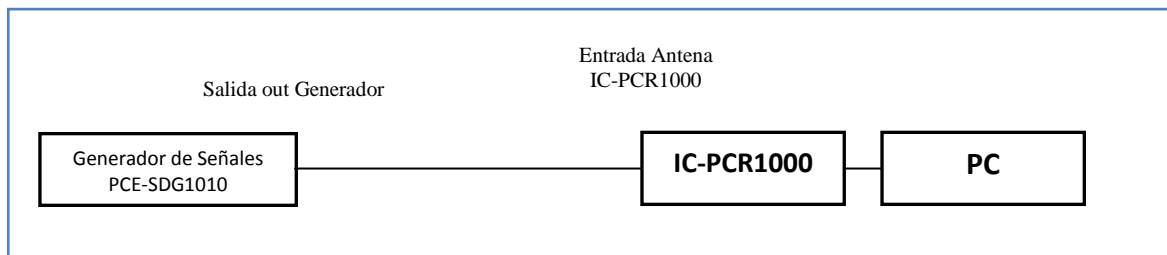
### Efecto de Cambio del número de puntos FFT

### Pruebas de Modulación FM

El 26/04/2013 Se realizan los ensayos siguientes

Prueba 1

Generador de señales conectado a través de su salida OUT1 a la entrada de antena del PCR1000. Este ultimo conectado al PC a través de la salida audio (Figura A1).



**Figura A1:** Ensayo de medición de una señal generada por PCE-SDG1010 y enviada a través de la antena Etón AN200 por aire libre

#### Prueba de Modulación FM

Ajustes Generador

SIN

11kHz, Amp 32 mVpp, phase 0

MOD

FM Freq 6 kHz, FM Dev 3kHz

Programa

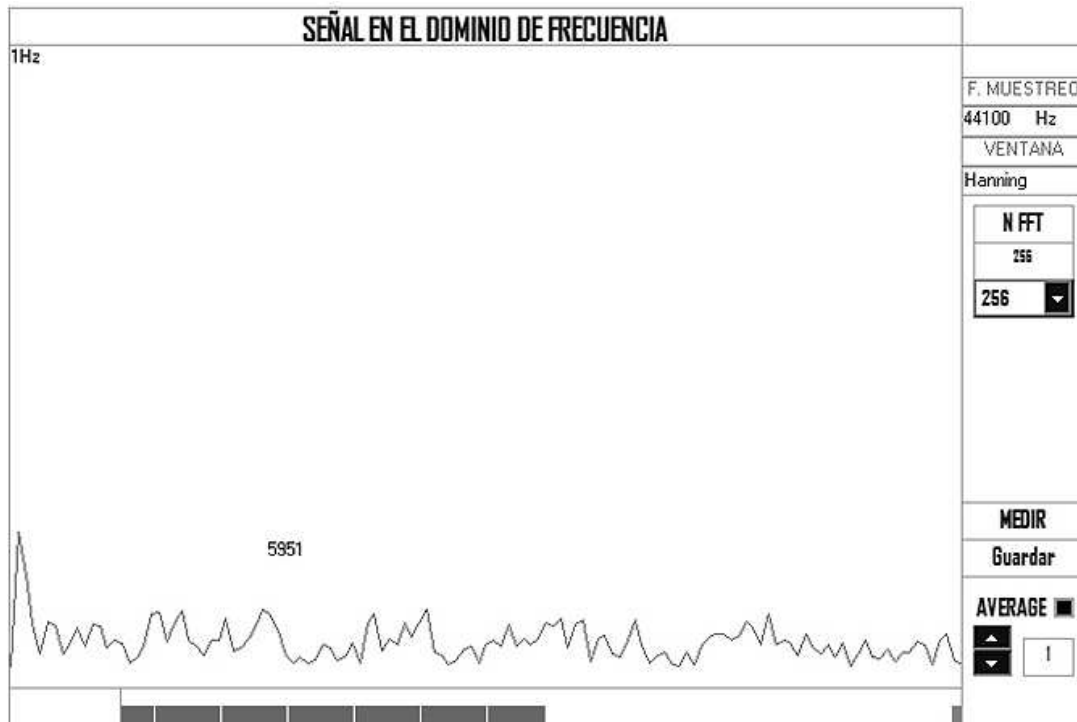
Sampling Rate 44100, Volumen 403F,

Freq 11kHz, FM, Filtro 15 kHz

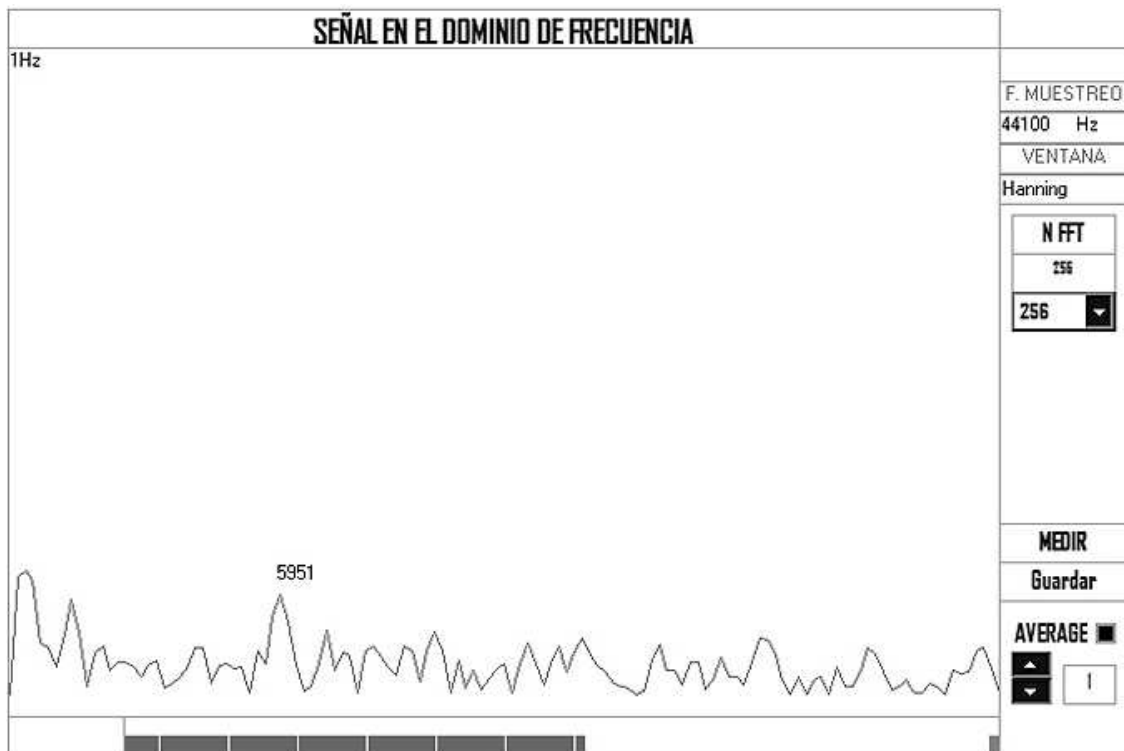
Ventana Hanning

**N=256**

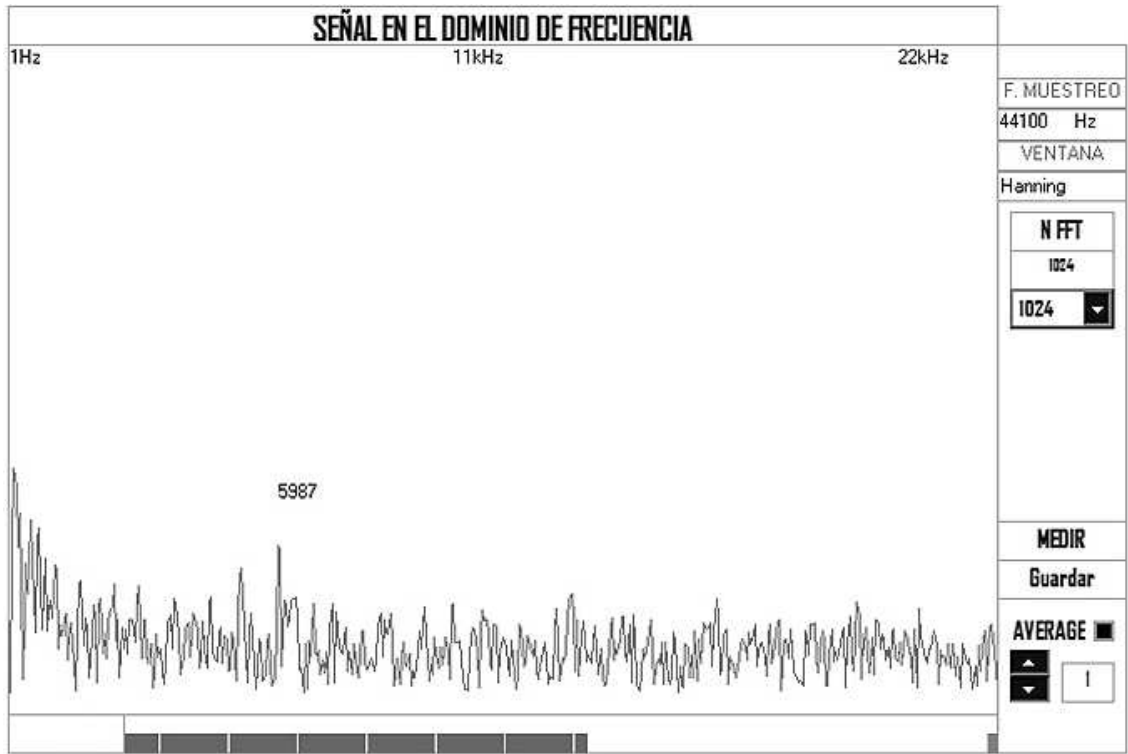
A penas se ve el pico de 6 kHz, y la precisión del valor es muy baja.



**FFT512**

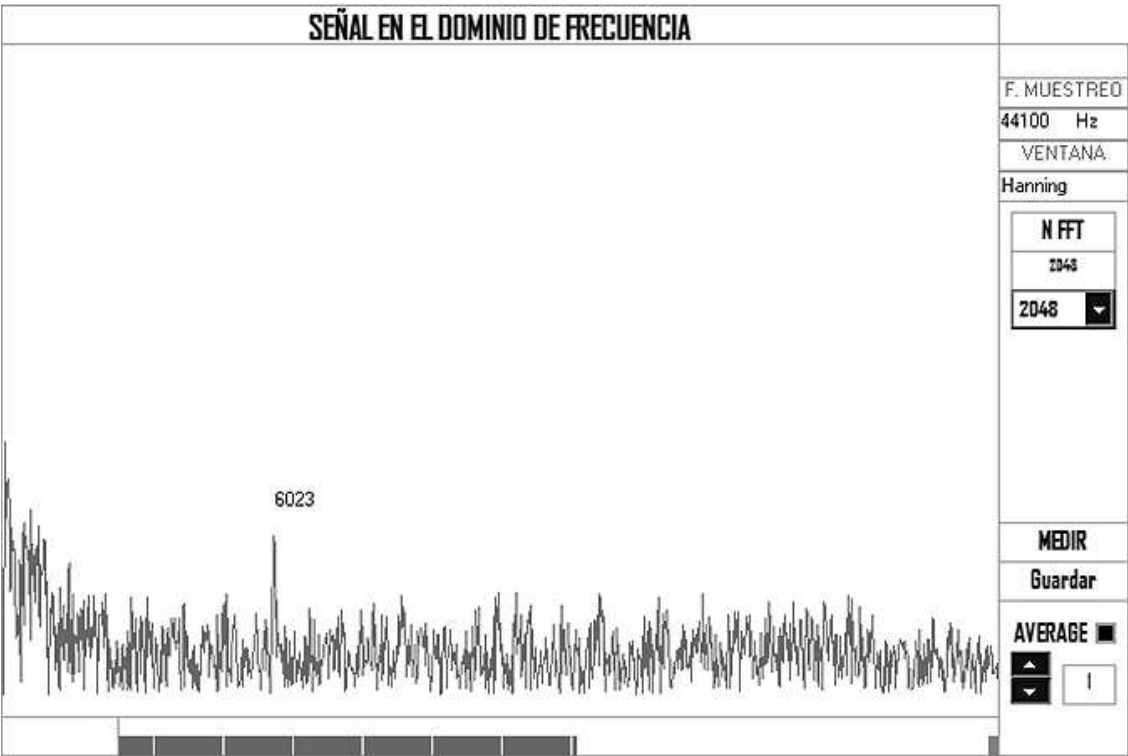


FFT1024



FFT 2048

Al aumentar el numero de puntos FFT a 2048, se puede identificar de manera muy clara la señal de entrada con la frecuencia 6023 Hz.

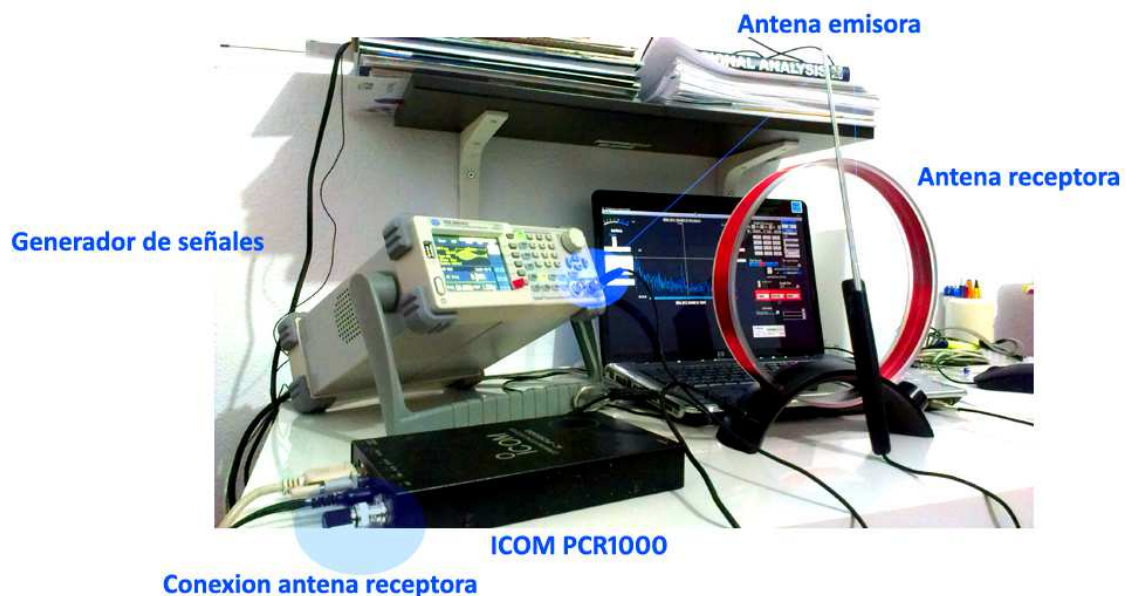


## MEDICIONES

### DETECCIÓN DE SEÑALES AL AIRE LIBRE

El 25 de abril de 2013, se realizan los ensayos que se describen en esta parte para demostrar la detección de señales mediante el uso del PCR1000 a través de antena, en vez de conexión directa con un generador de señales. En ensayos anteriores se ha demostrado la detección de señal mediante conexión directa por cable entre la salida del generador y la entrada de antena del PCR1000.

En este ensayo, se conecta una antena de bucle al PCR1000, y se conecta otra antena a la salida del generador. Se utiliza una señal de salida con un nivel más alto que los ensayos que se realizaron mediante conexión directa.



**A continuación se describen los parámetros usados**

#### Generador

Sine: 530kHz

Porque se utiliza la antena receptor tipo AN200 E1-124819 Etón, freq 520-1710 kHz

Amplitud 2,30 Vpp

Phase 0,0º

Mod

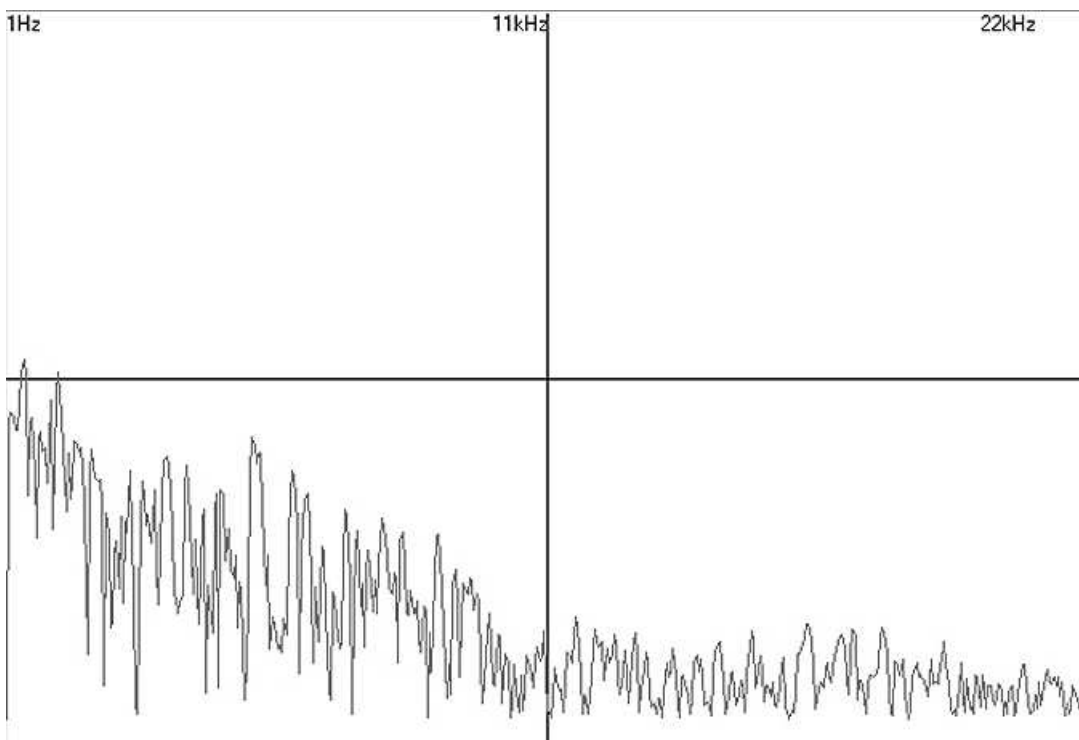
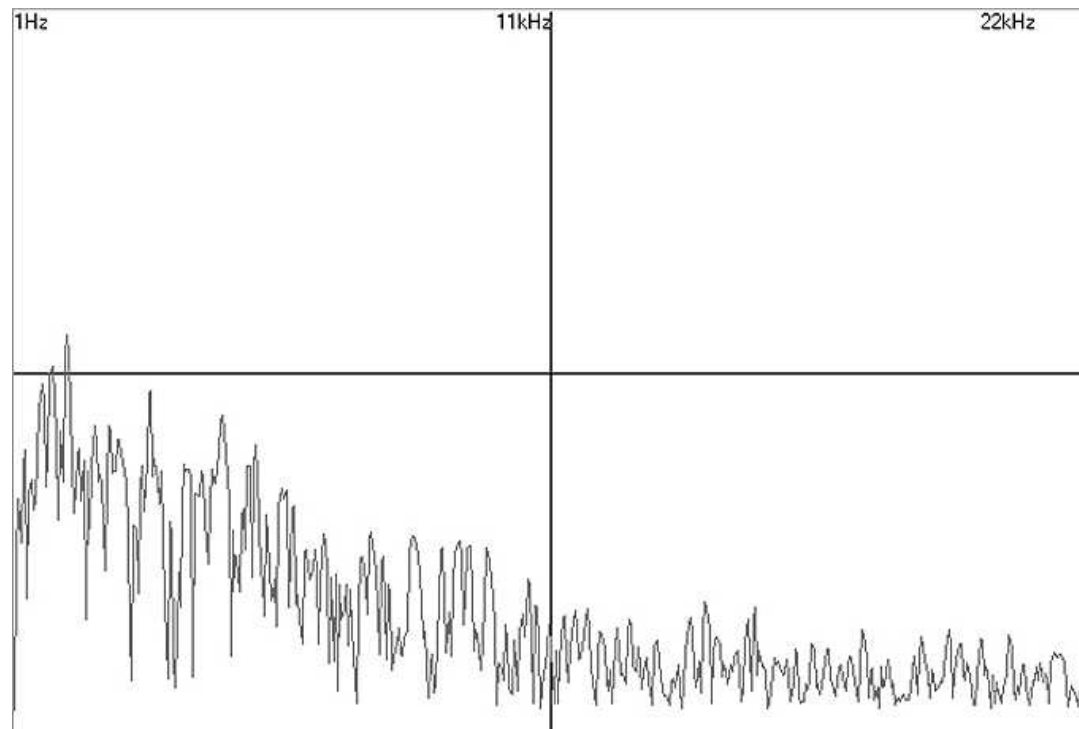
AM 10 kHz

#### ICOM

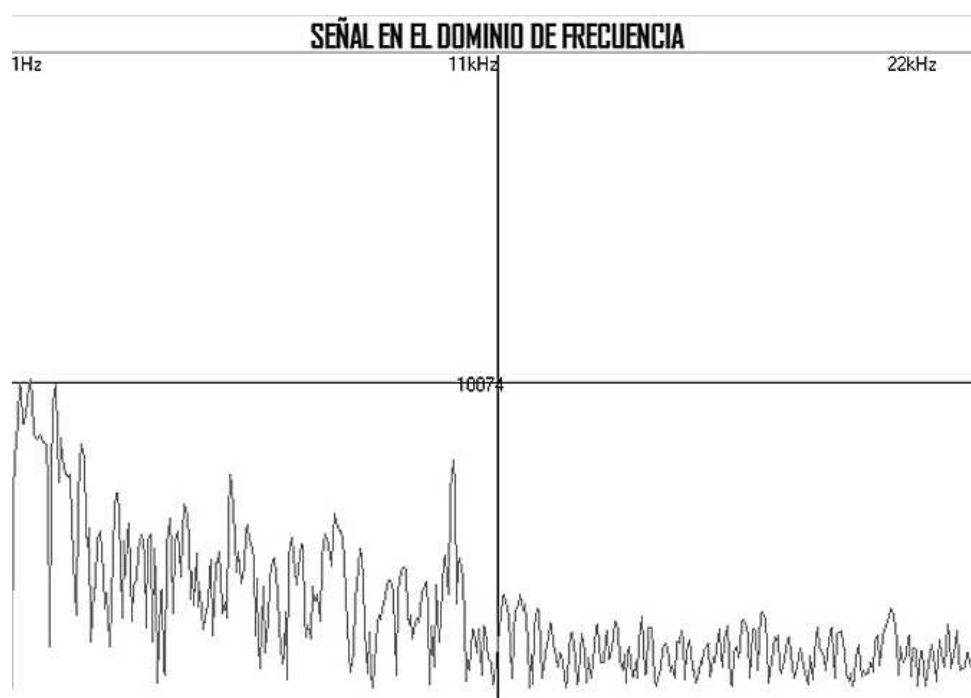
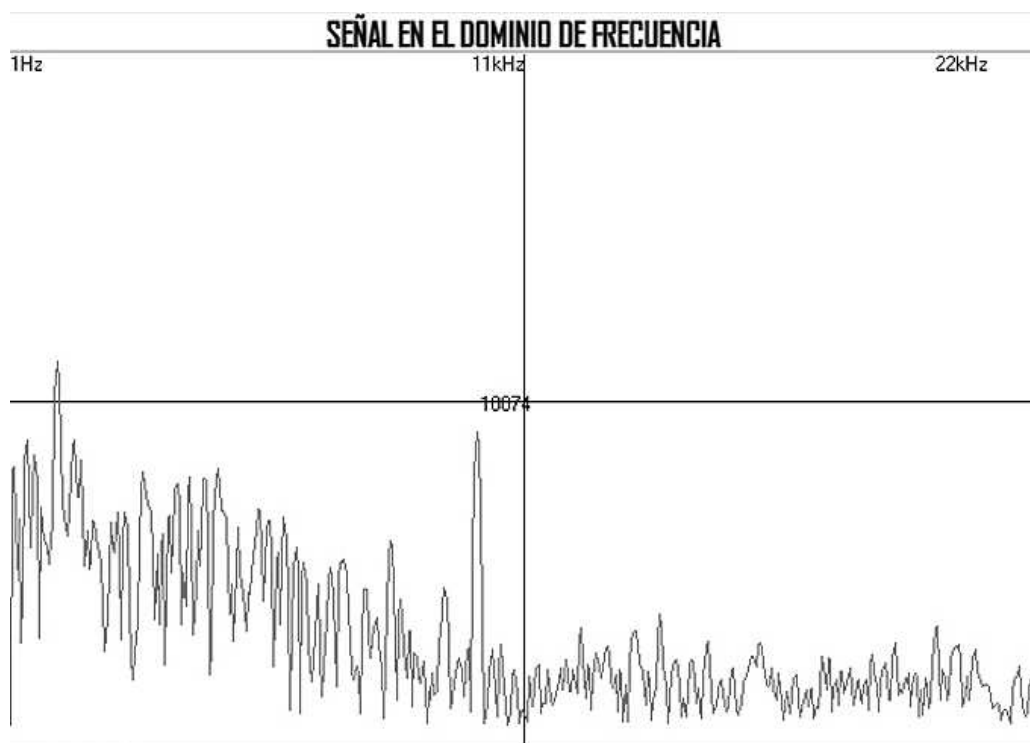
530 kHz, AM, 15 kHz, Black-Harris, Volumen J403D

Sampling 44100

Antes de tener la señal del generador se obtiene la señal siguiente:



Después de activar la salida OUT1 del generador, obtenemos un pico en 10kHz. Se nota la existencia de otros picos en frecuencias de 500Hz, 1 kHz, 5 kHz



**Nota**

Cuando subimos la freq de MOD a más de 12 kHz no se obtiene nada en el pico que corresponde a esta frecuencia.

Cambiando el filtro del PCR1000 de 15 kHz a 50 kHz, aparece el pico que corresponde a 12kHz, y también a las frecuencias superiores a 12 kHz.

## **MEDICIONES**

### **IMPLEMENTACIÓN DEL PROMEDIADO TIPO MÁXIMO**

El 29 de abril de 2013 se realiza el ensayo que a continuación se describe. Se conecta el generador de señales a través de su salida out1 a la entrada del PCR (cable).

Se conecta el PCR al PC a través de la entrada audio de la tarjeta de sonido

#### **Parámetros**

Generador de señales

Sine

Freq 1MHz

Phase 0

**Ampl 40 mVpp**

Mod

AM Freq 13 kHz

AM Depth 100%

Se sintoniza el PCR a la frecuencia 1 MHz

Se utiliza N=1024

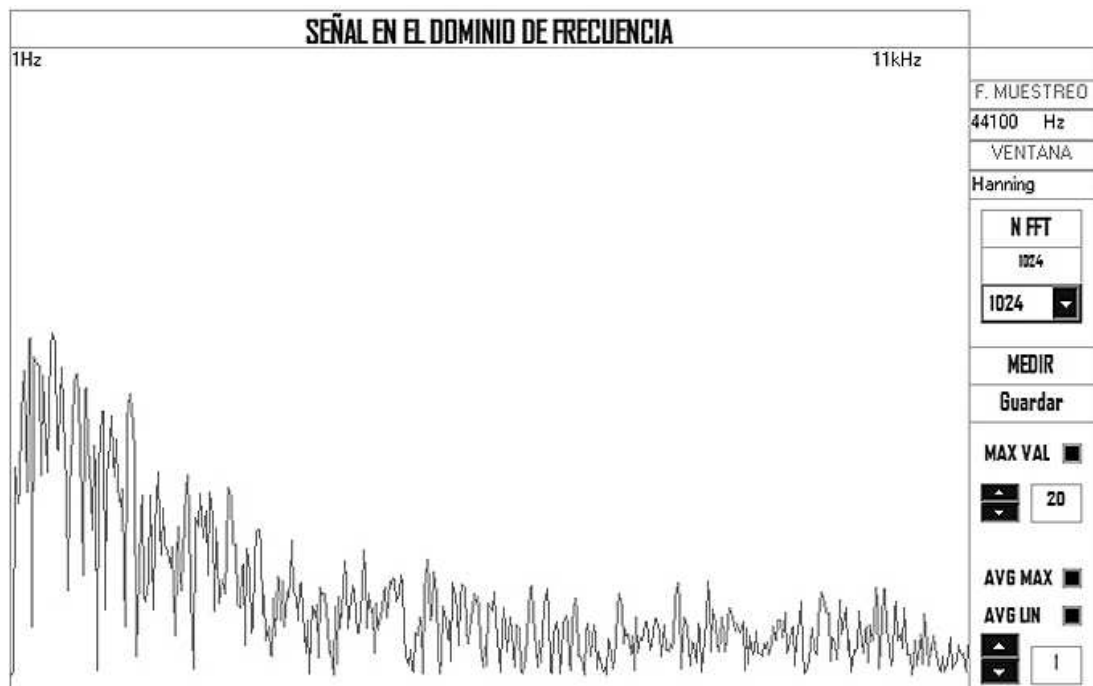
Ventana Hanning

Freq Muestreo 44,1 kHz

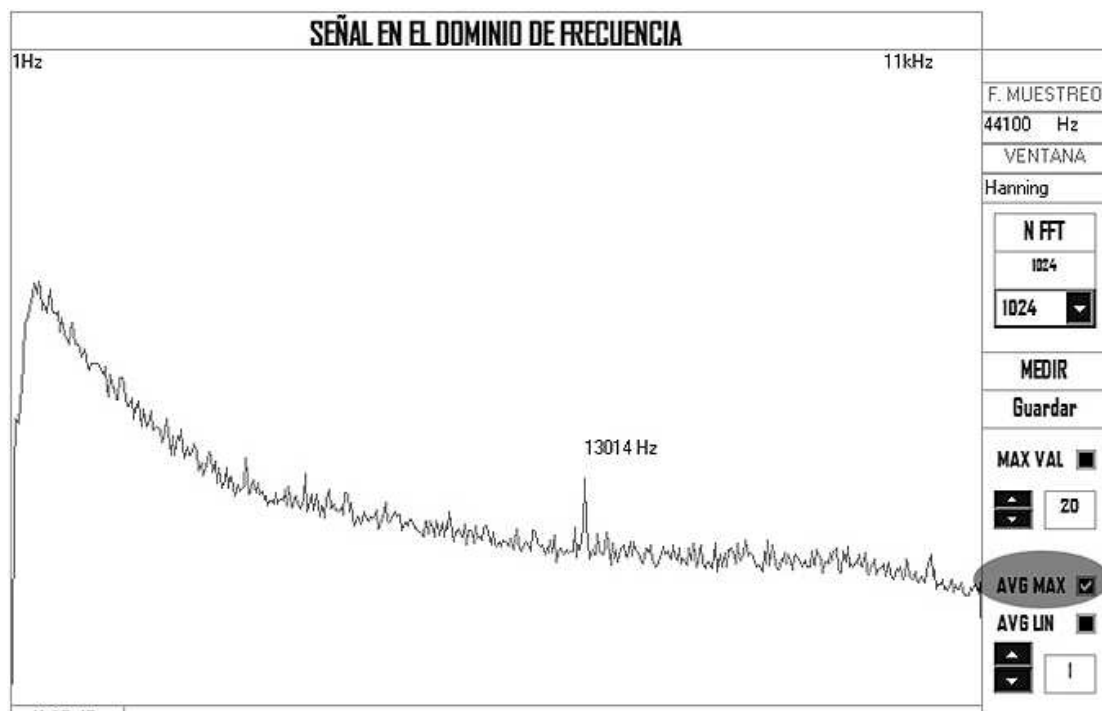
**Volumen J4040**

Se obtiene la señal que se representa en la siguiente figura

En esta figura, no es posible identificar la señal que mandamos al PCR1000 desde el generador de señales.



Se aplica el promediado tipo máximo, y se obtiene la señal que se representa en la siguiente figura



Se nota que después de aplicar el promediado, aparece el pico de 13 kHz que mandamos desde el generador de señales.

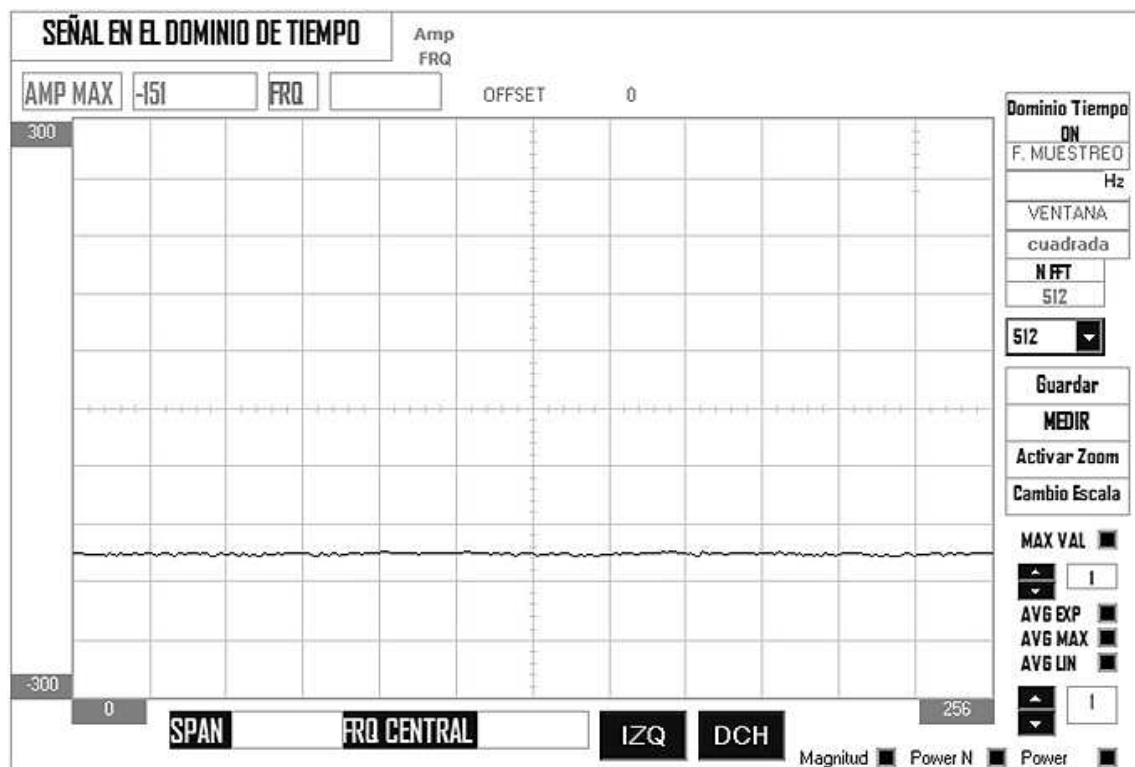


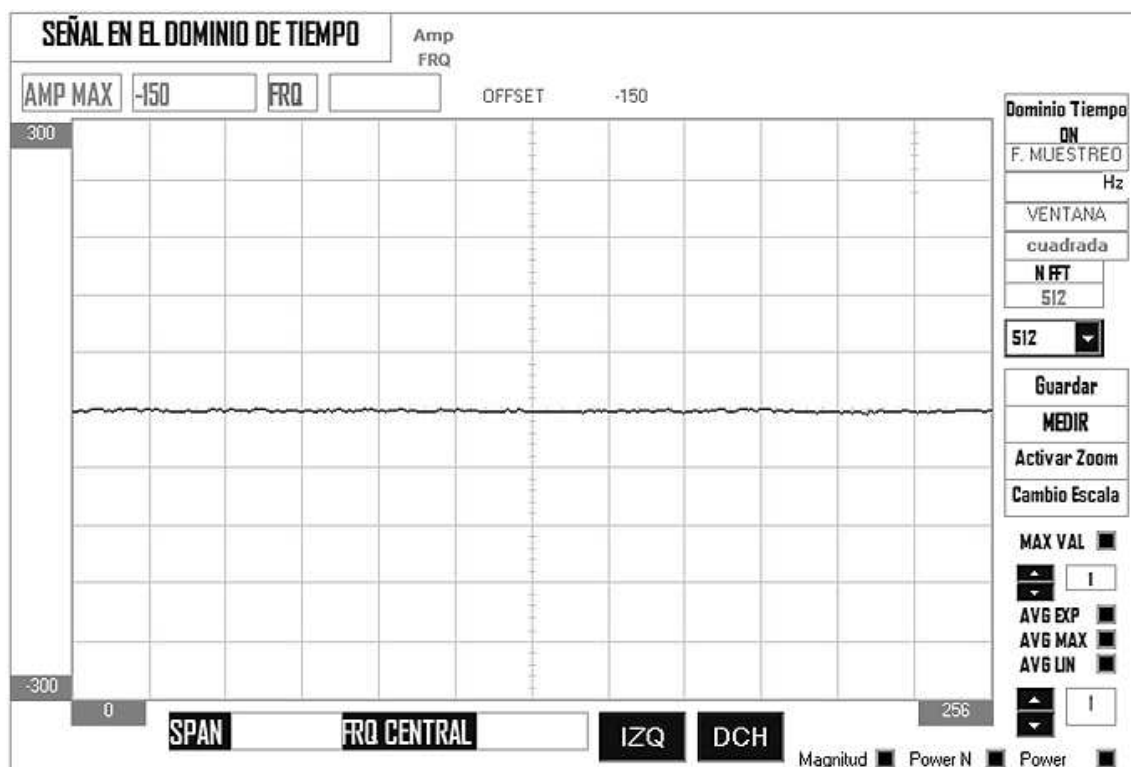
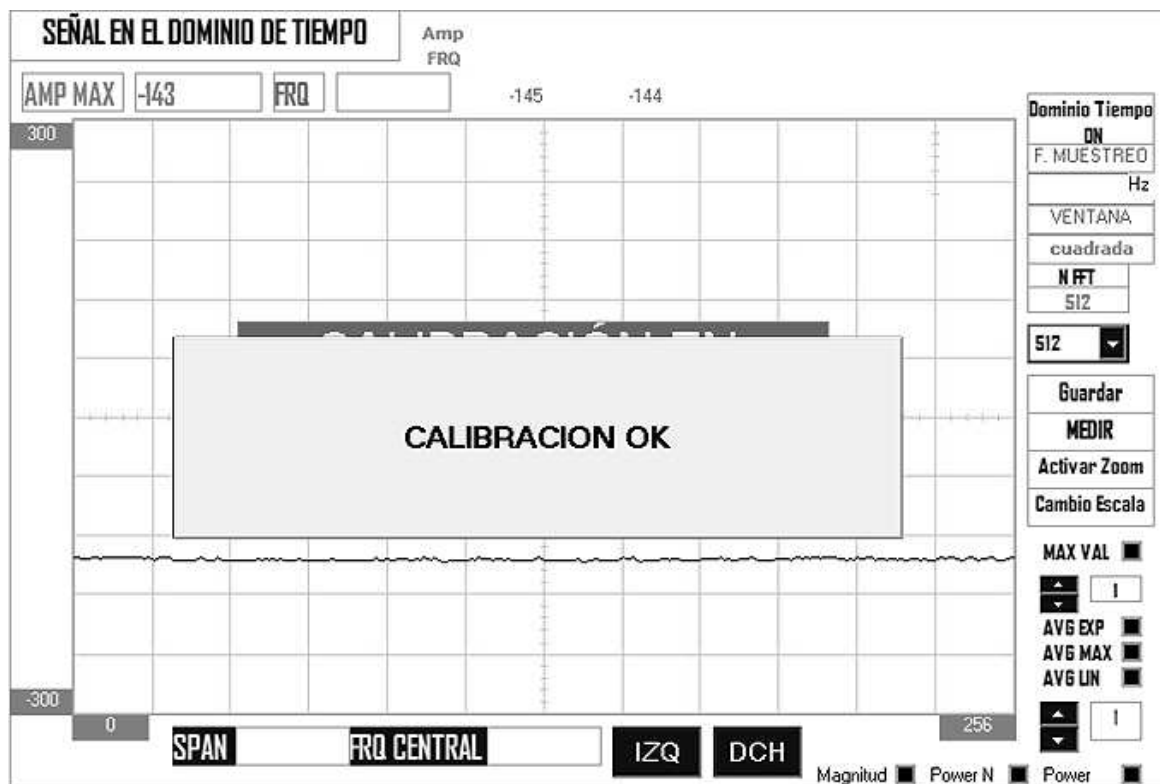
# MEDICIONES

## CALIBRACIÓN DEL NIVEL DE LA SEÑAL TEMPORAL

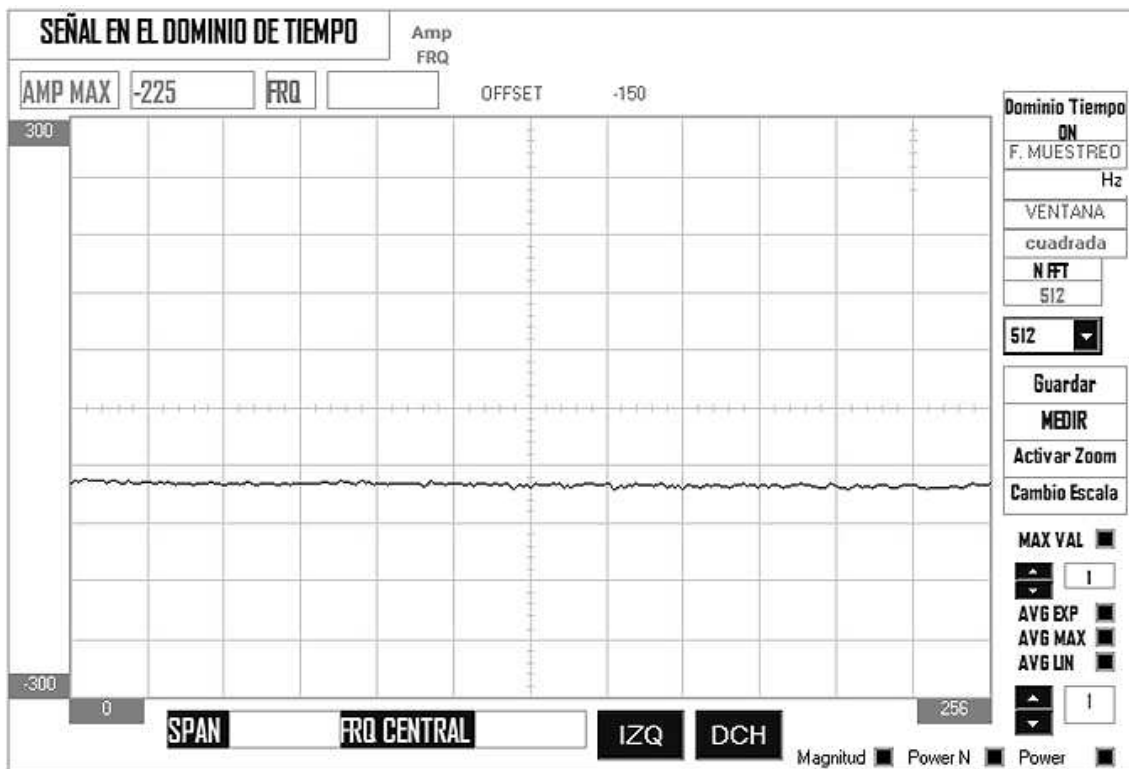
### 04/05/2015

El 04 de mayo de 2015 se realizan ensayos de calibración de la señal en el dominio del tiempo.



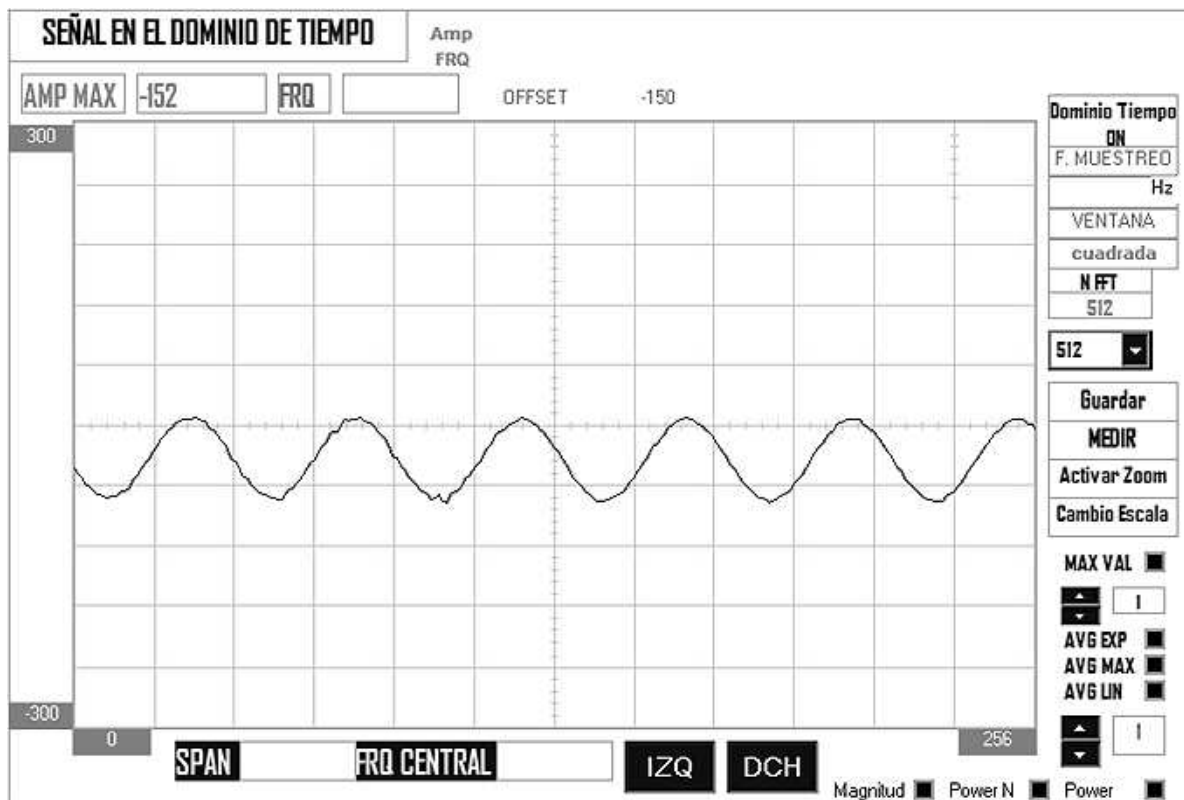


Se conecta el aparato de medición

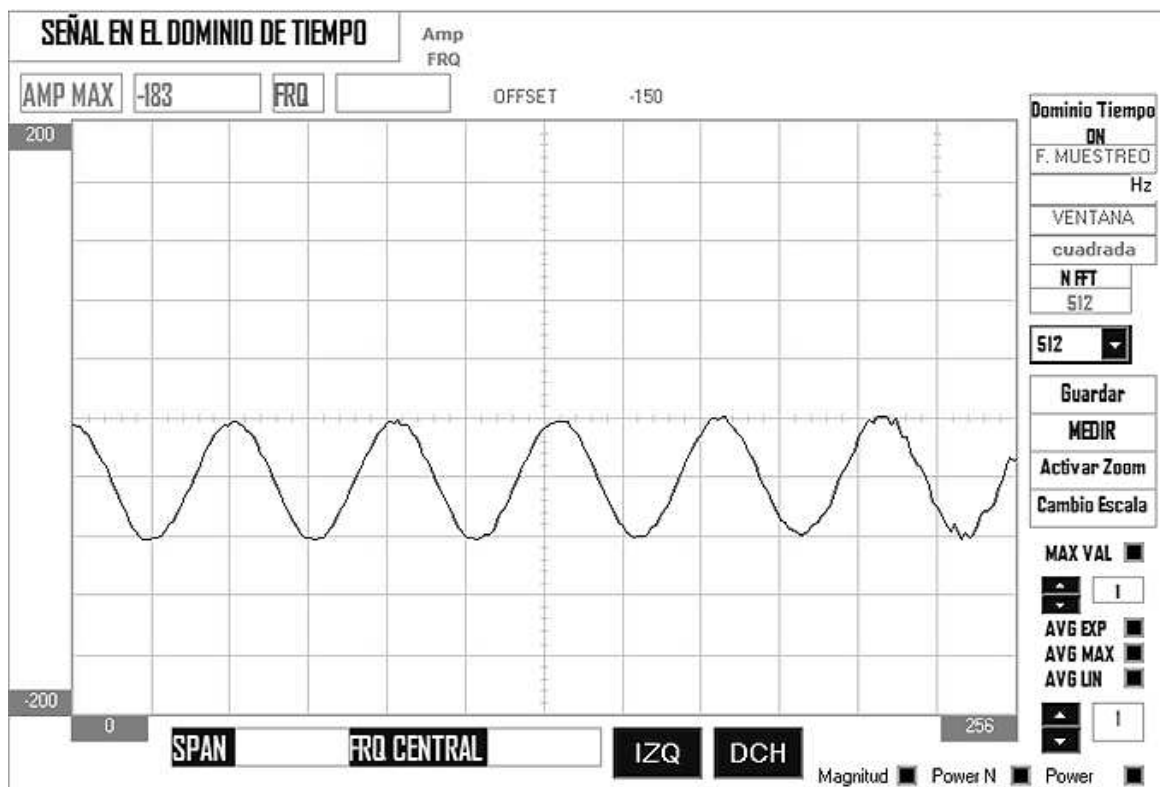


Se observa que dicho aparato presenta un componente DC negativo de aprox -75

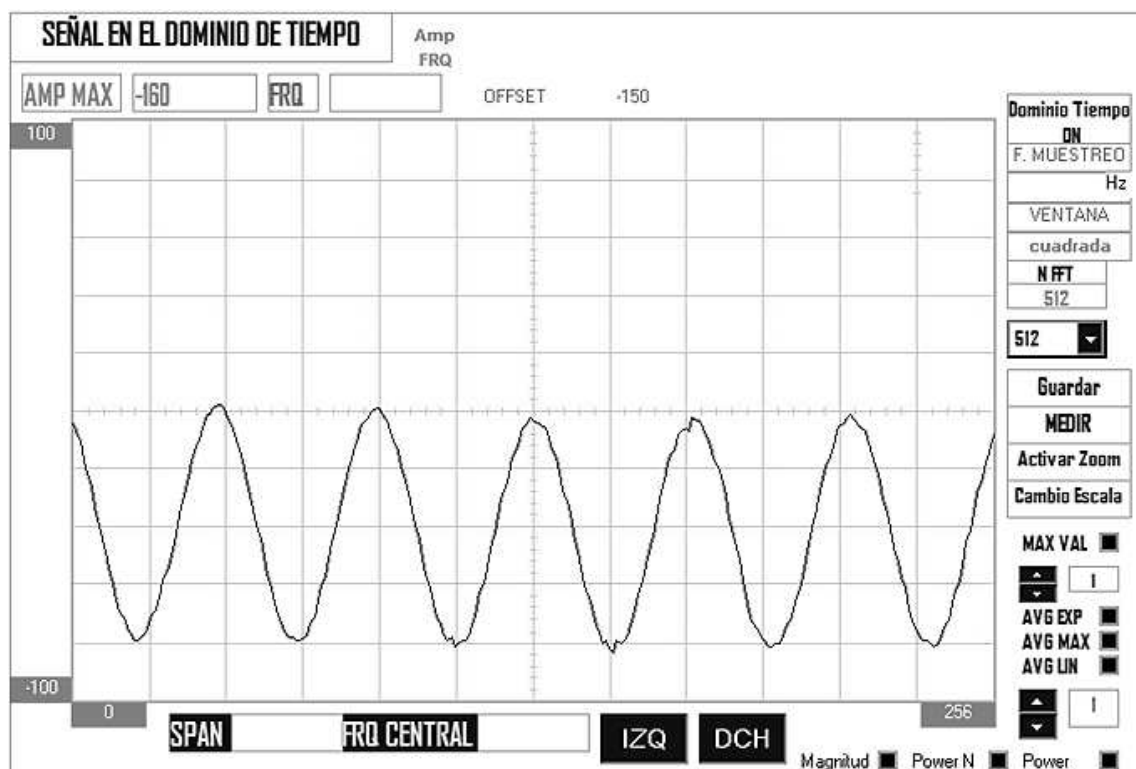
Se aplica en la entrada una señal sinoidal de 1kHz de 4mVpp



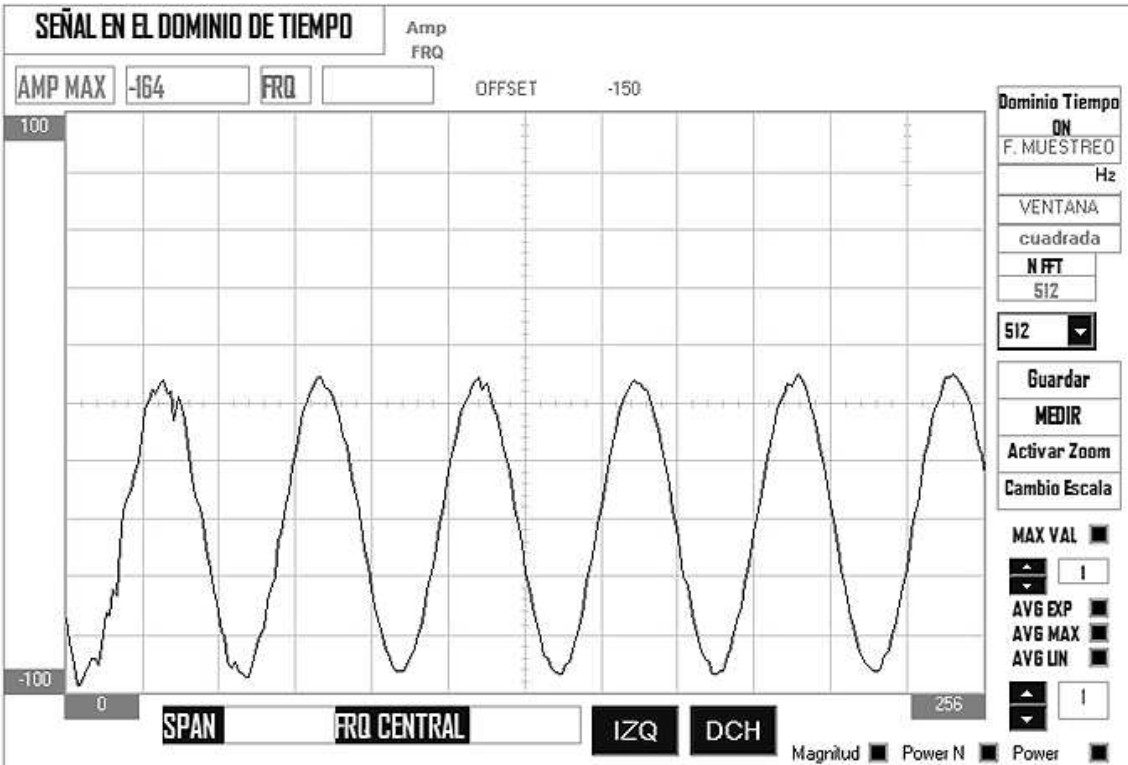
Para mejorar la precisión se cambia escala de x a -200,200



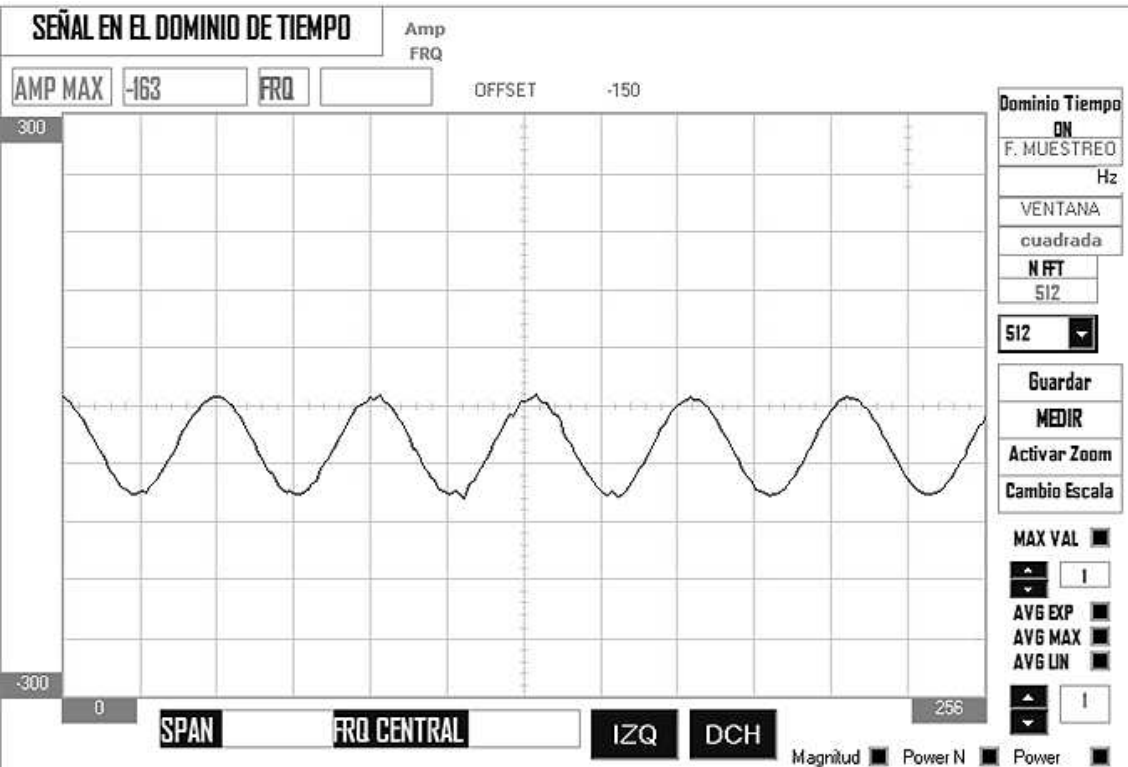
Se cambia la escala de x a -100,100



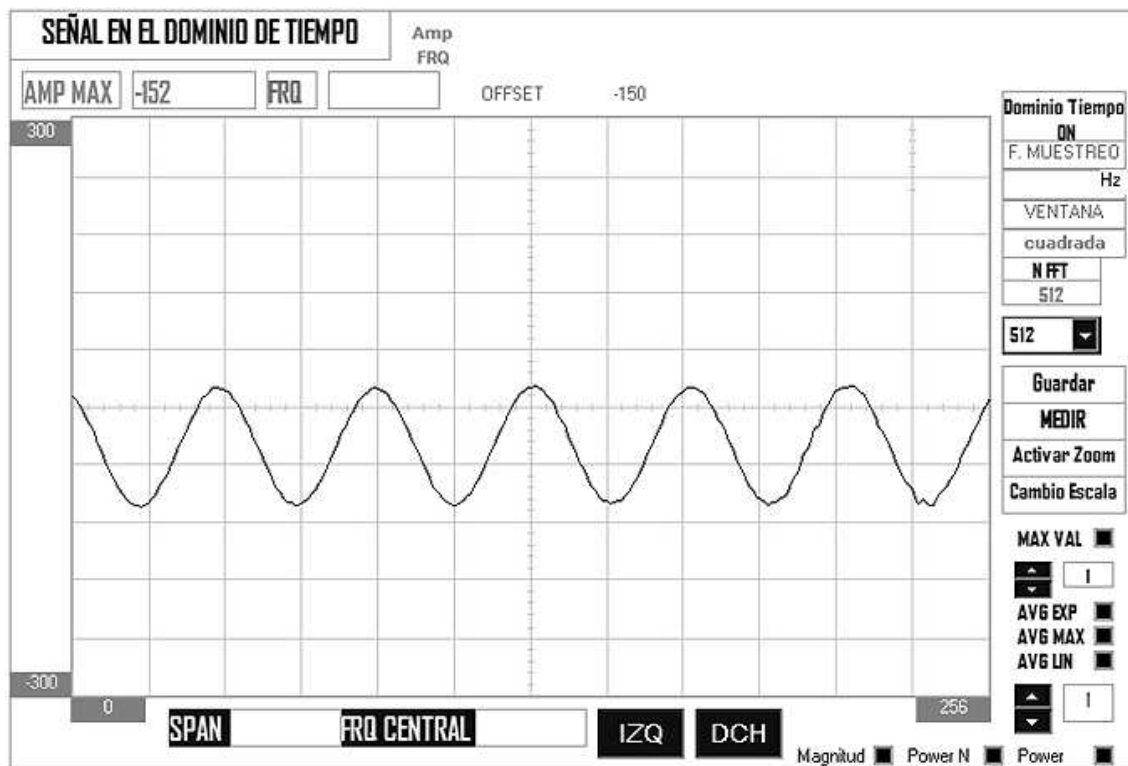
Aumentamos la señal de entrada a 5mVpp, se obtiene la figura siguiente:  
Escala -100,100



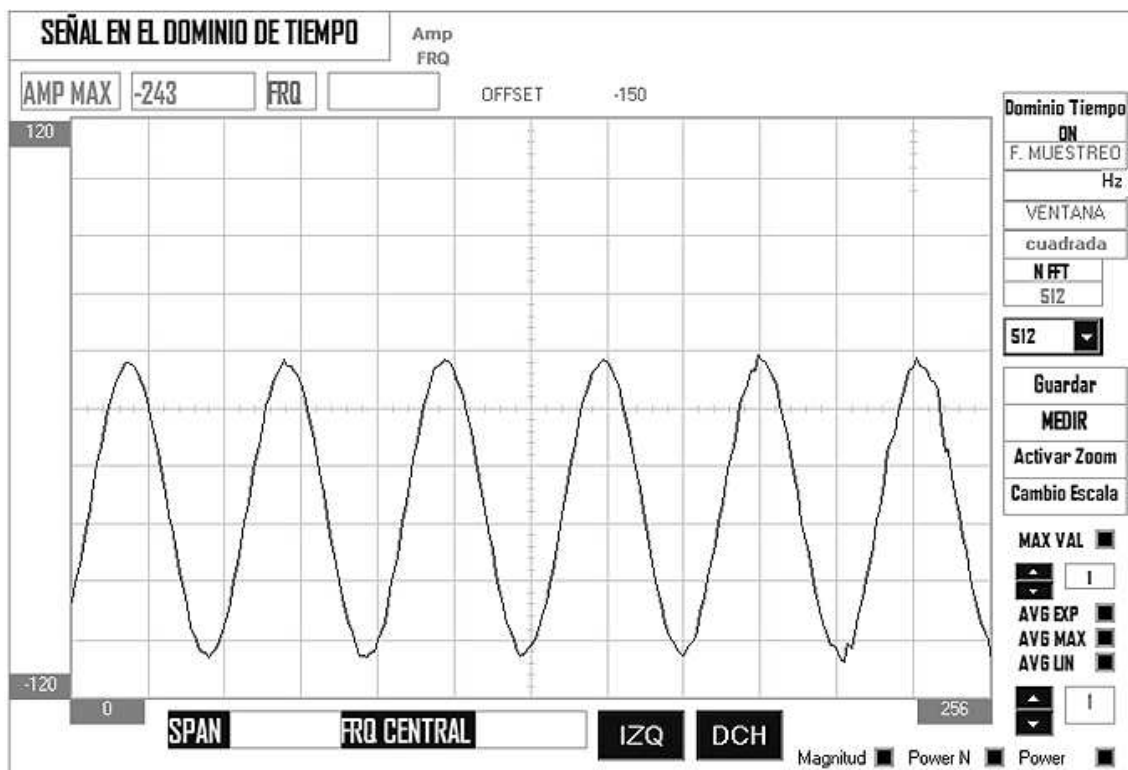
Se cambia la escala a -300,300



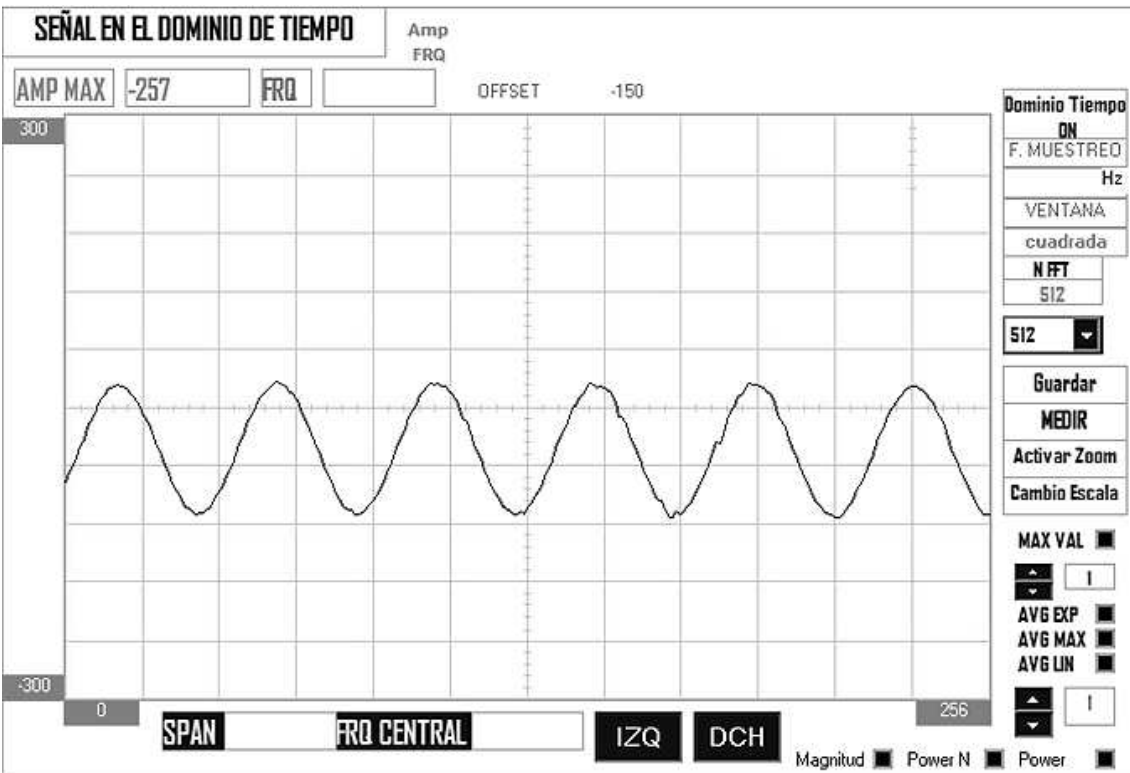
Se aumenta el valor de la señal de entrada a 6mVpp, escala -300,300



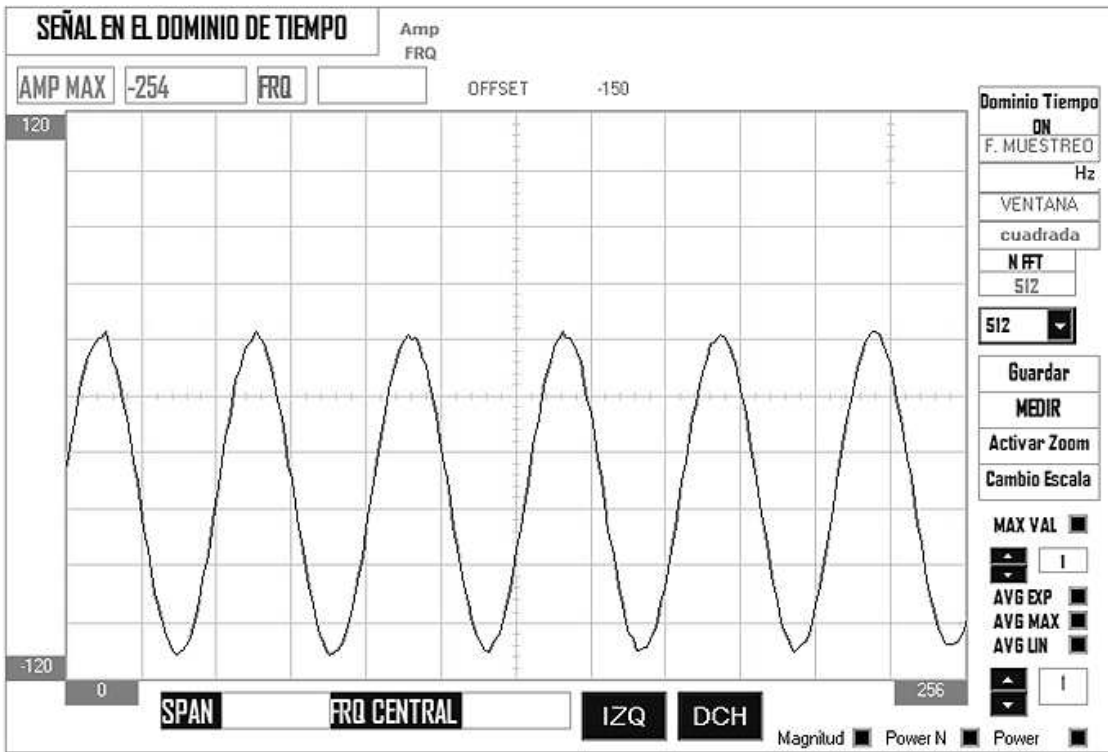
Se cambia la escala a -120,120



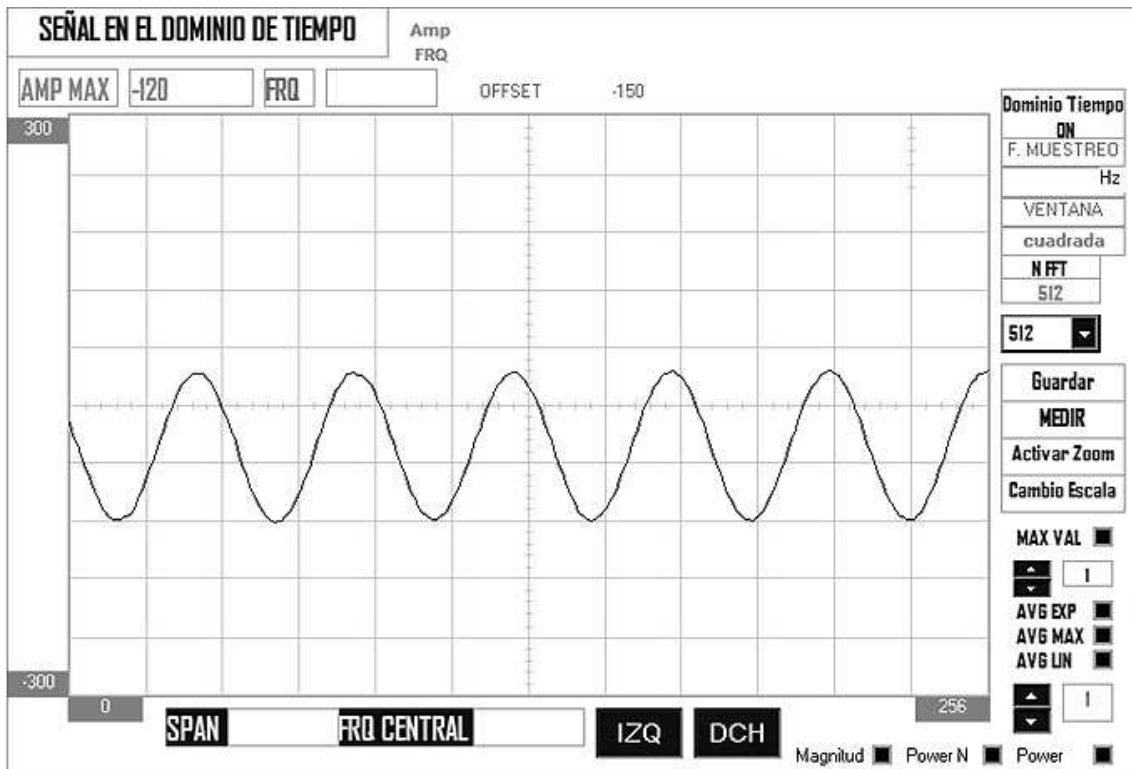
Se aumenta la amplitud de la señal de entrada a 7mVpp, escala -300,300



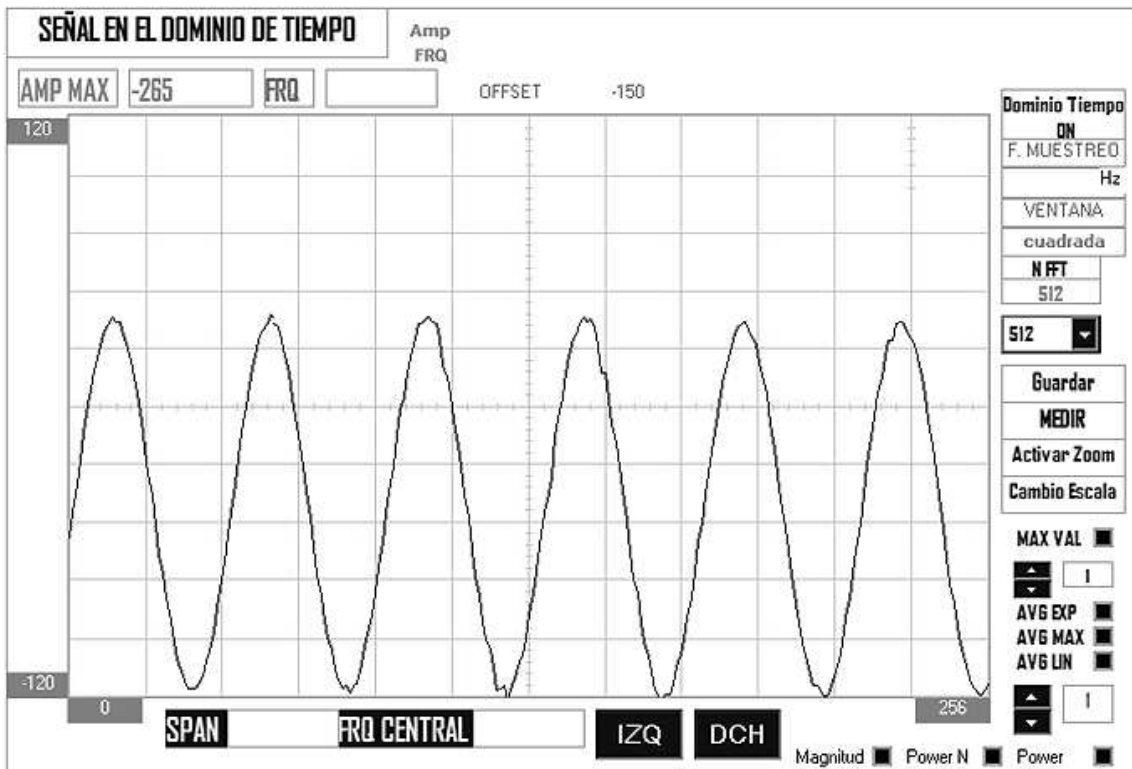
Escala -120,120



Amplitud de 8mVpp, Escala -300,300

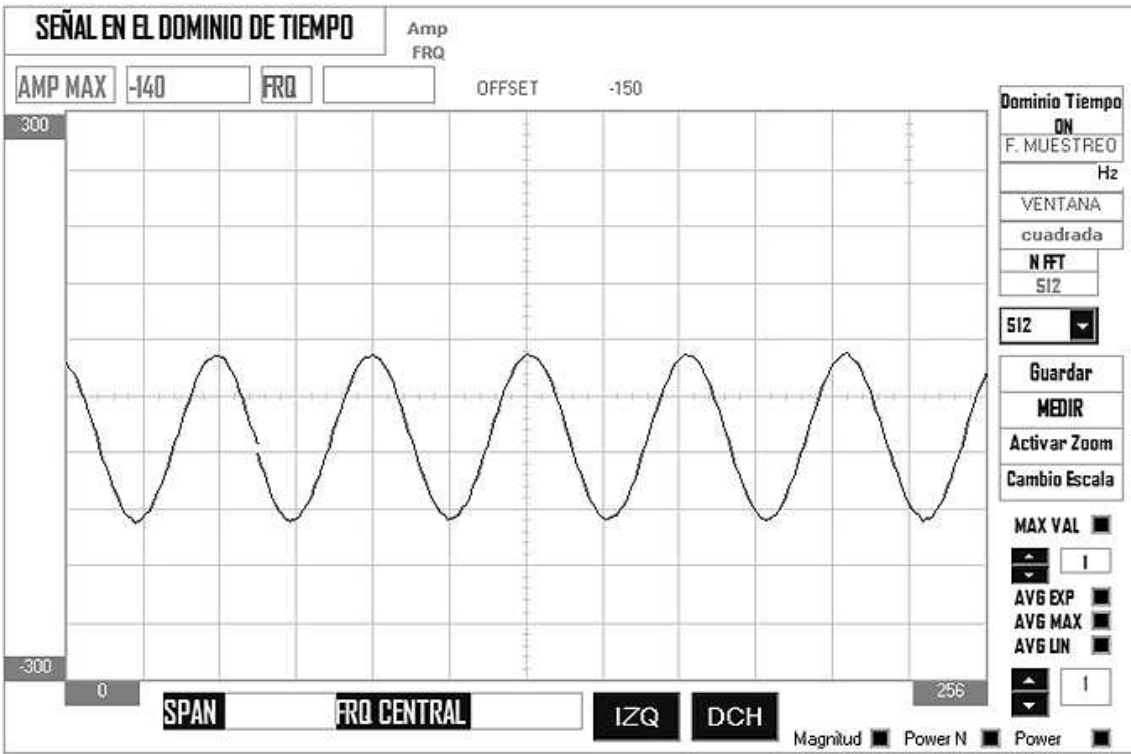


Se reduce la escala a -120,120

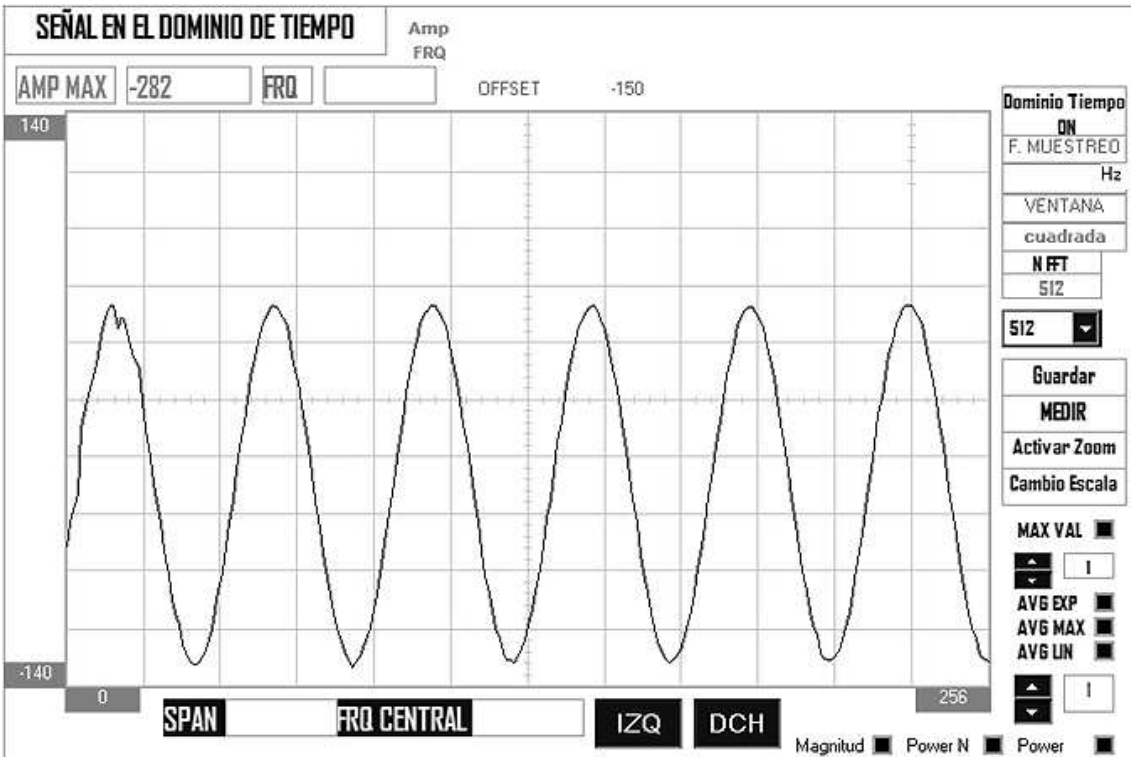




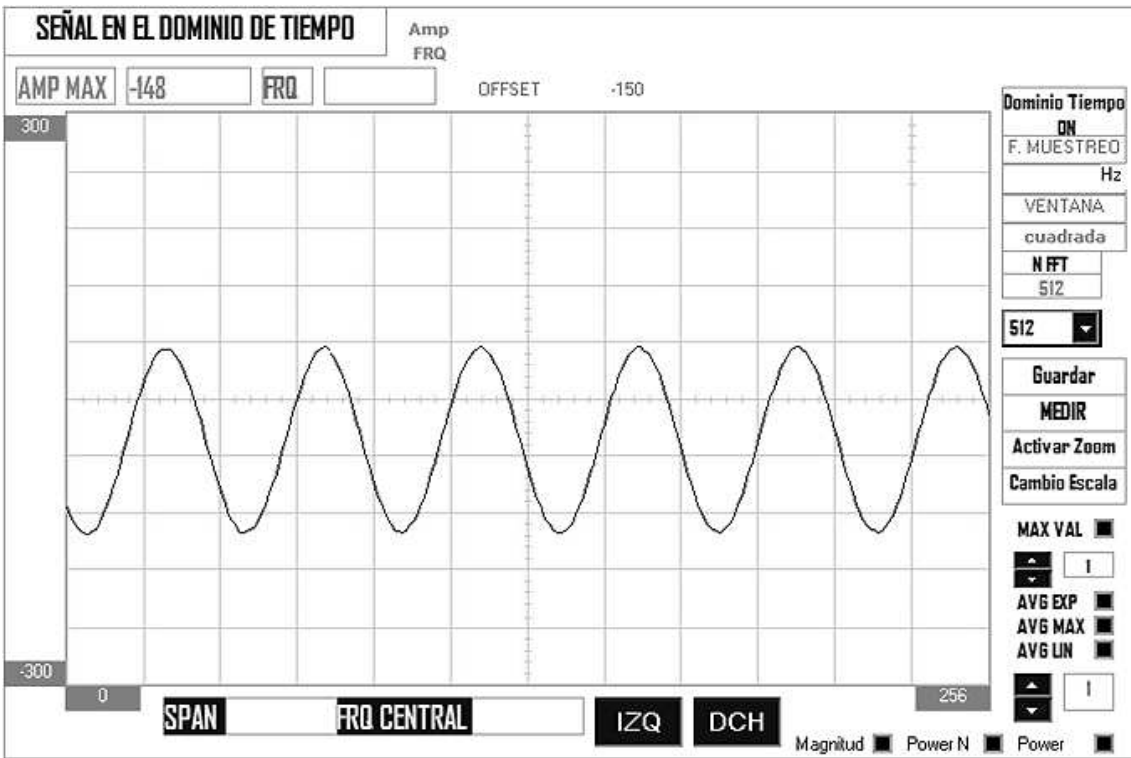
Señal de entrada 9mVpp, Escala -300,300



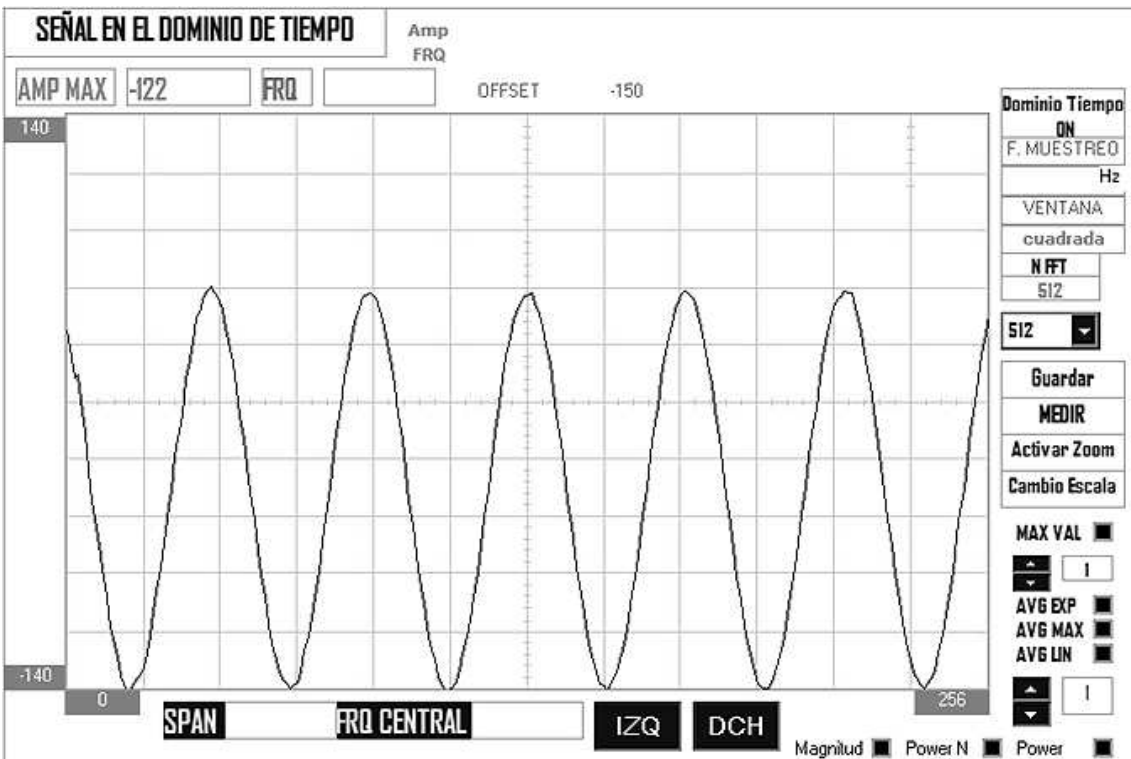
Escala -140, 140



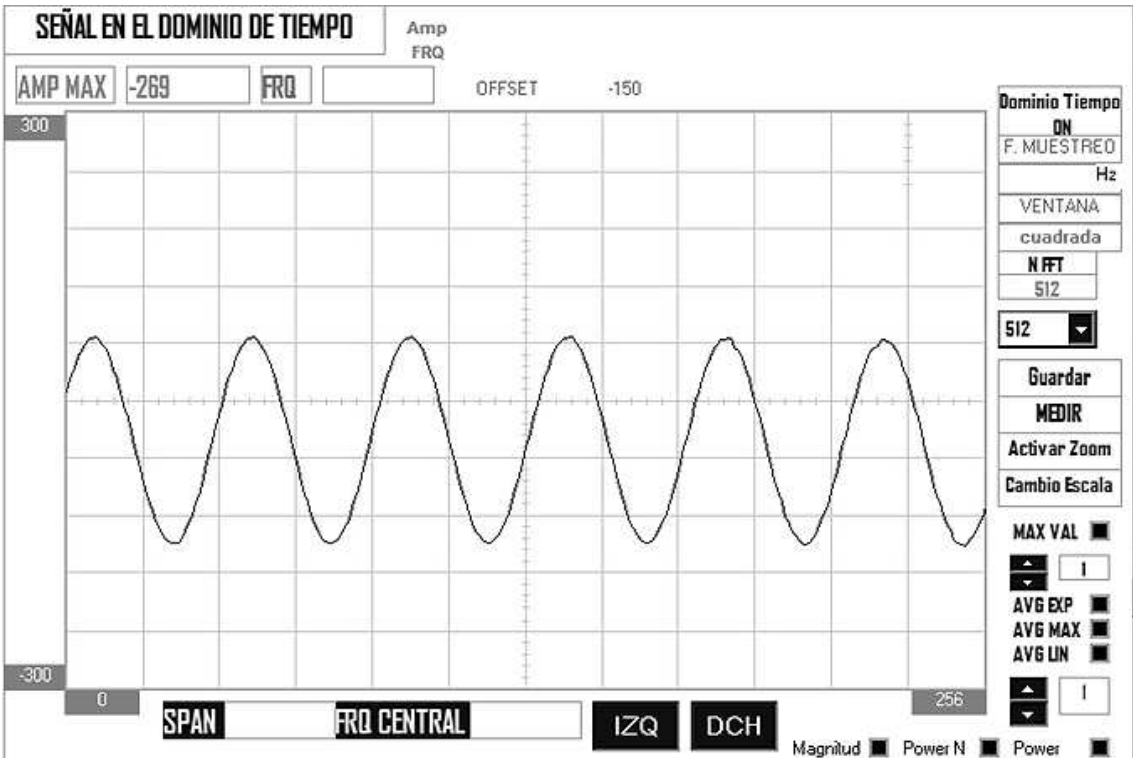
Señal 10 mVpp, Escala -300, 300



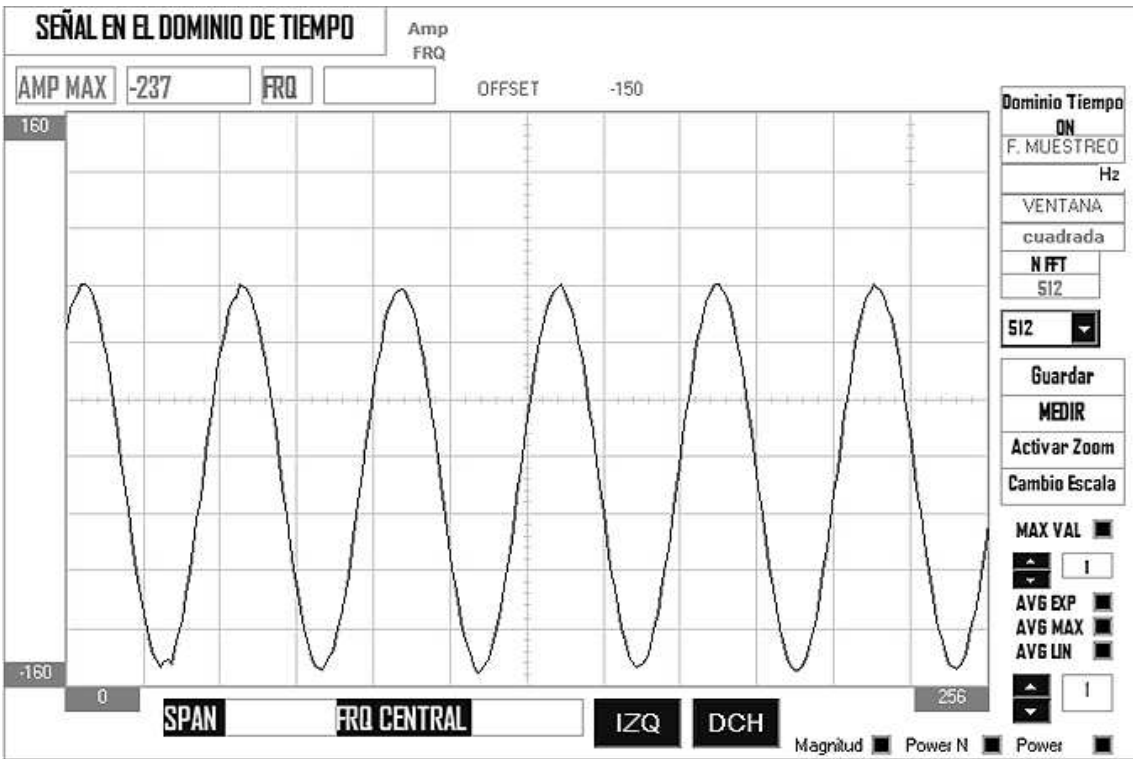
Escala -140, 140



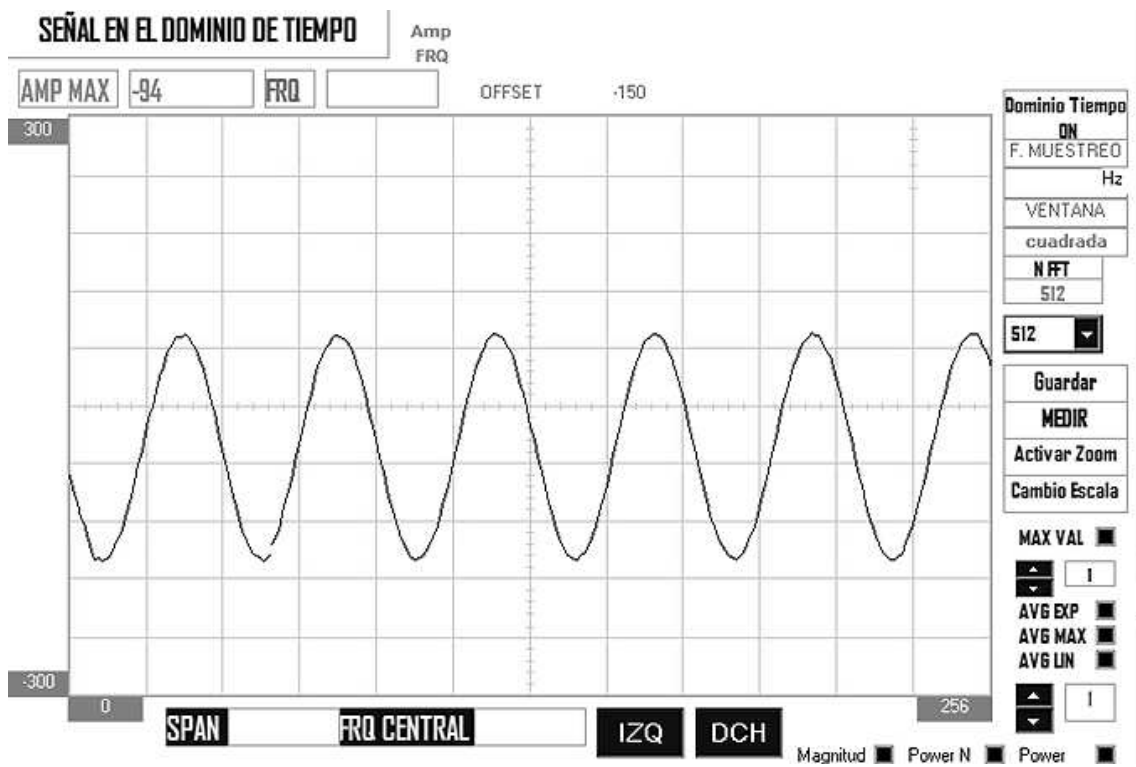
Señal de 11 mVpp, Escala -300, 300



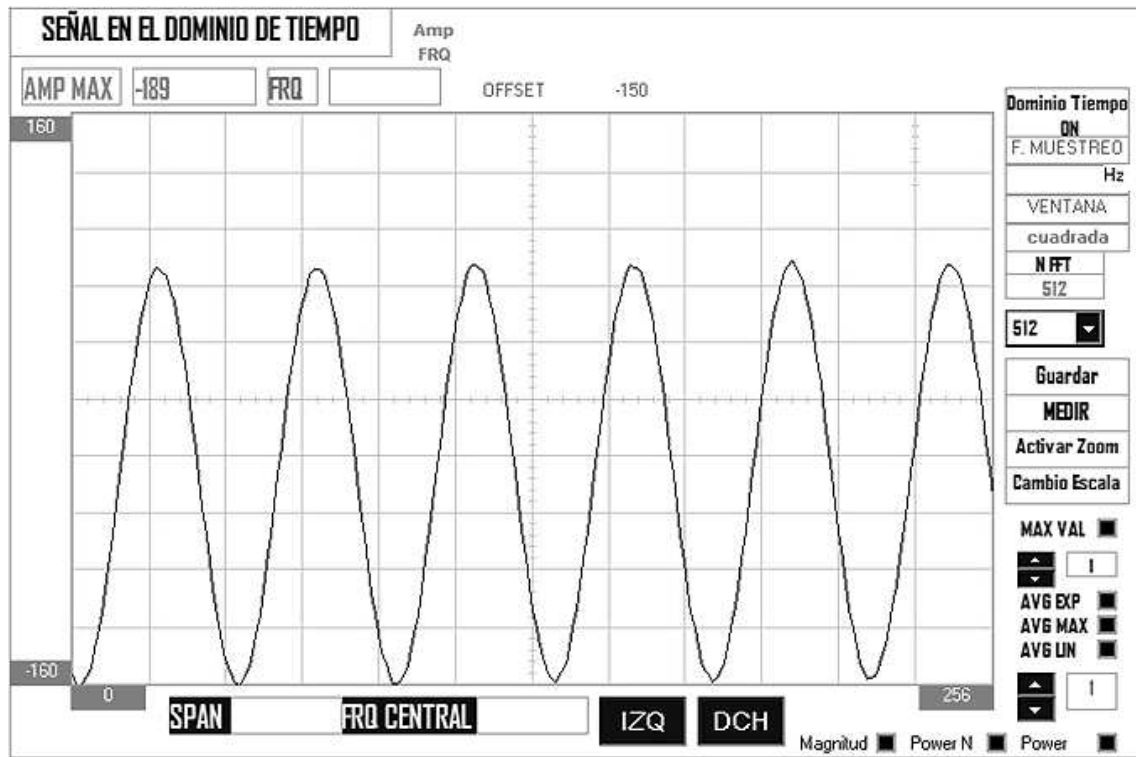
Escala -160, 160



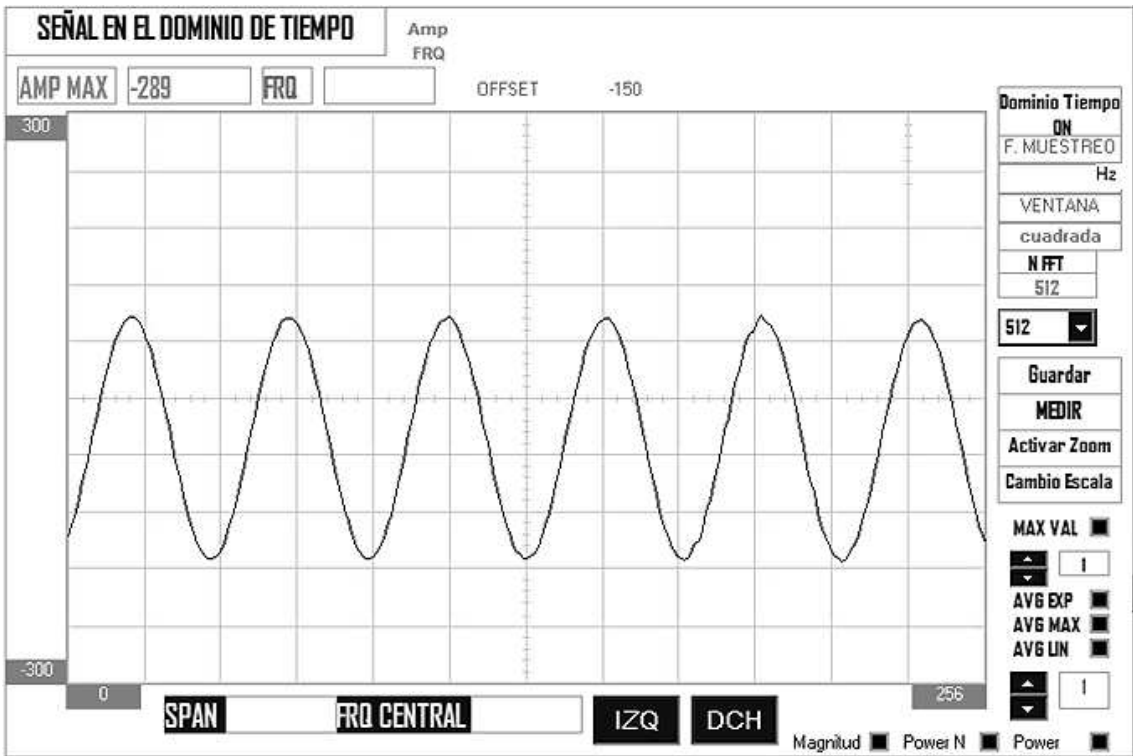
Señal 12 mVpp, Escala -300,300



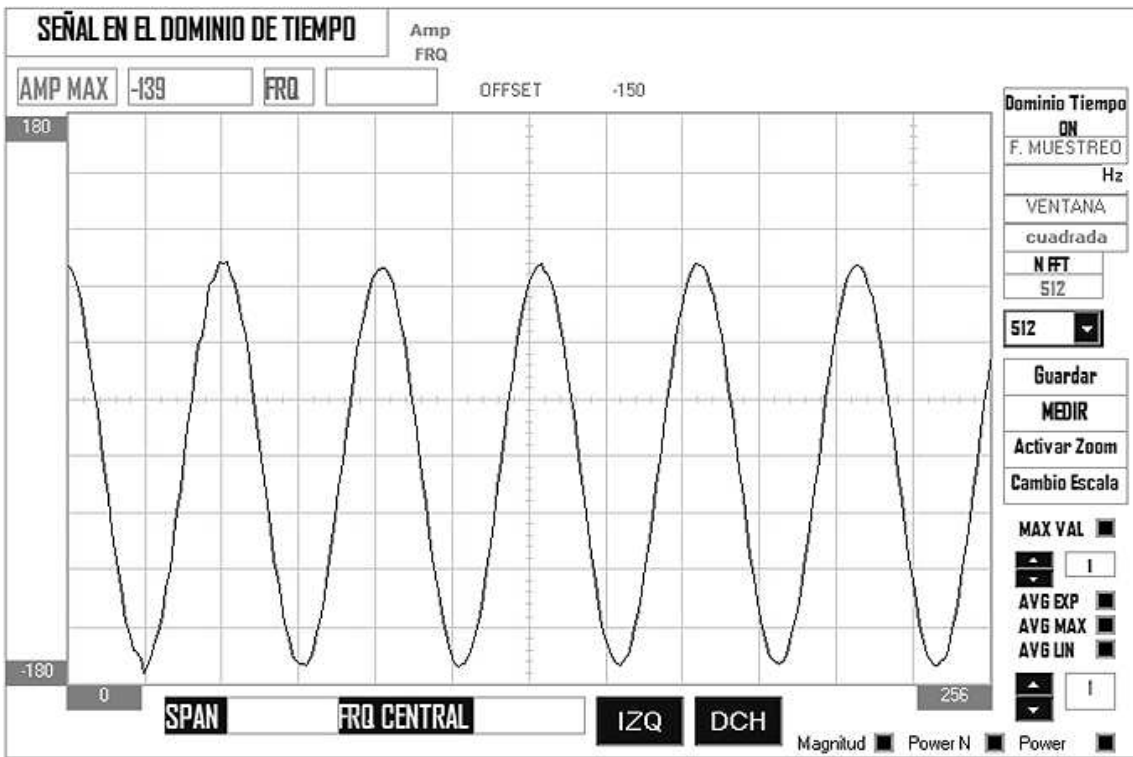
Escala -160,160



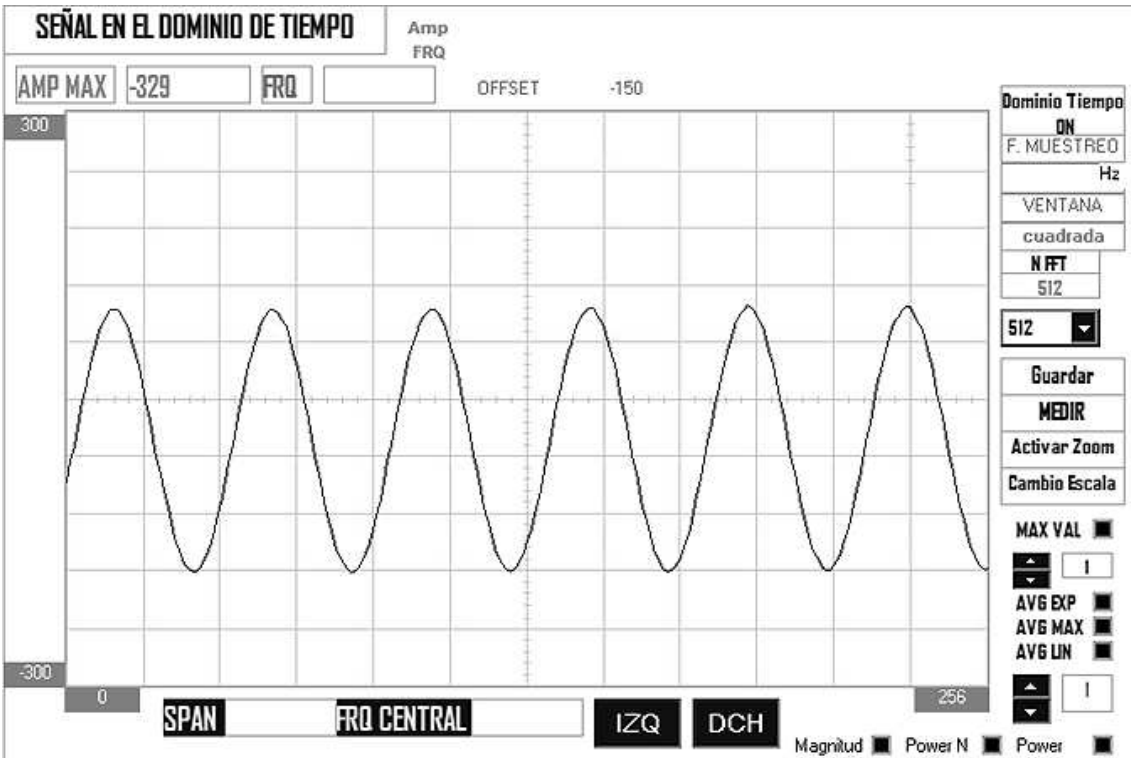
Señal de entrada 13 mVpp, Escala -300,300



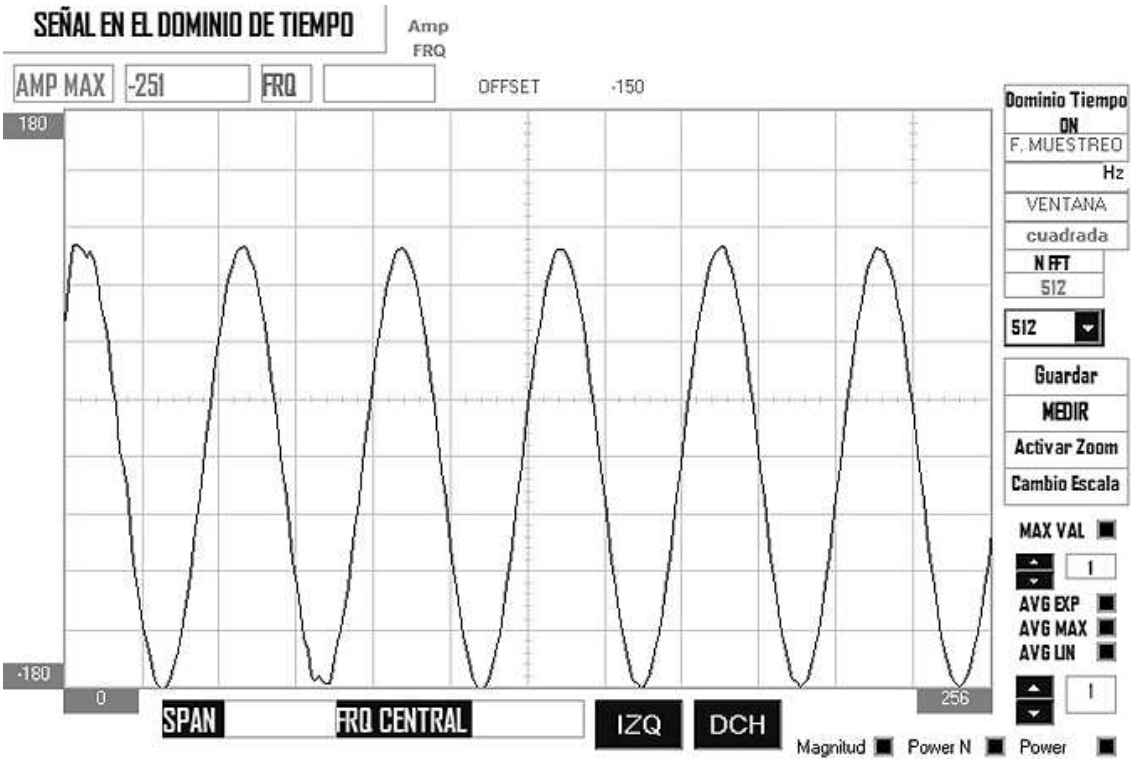
Escala -180, 180



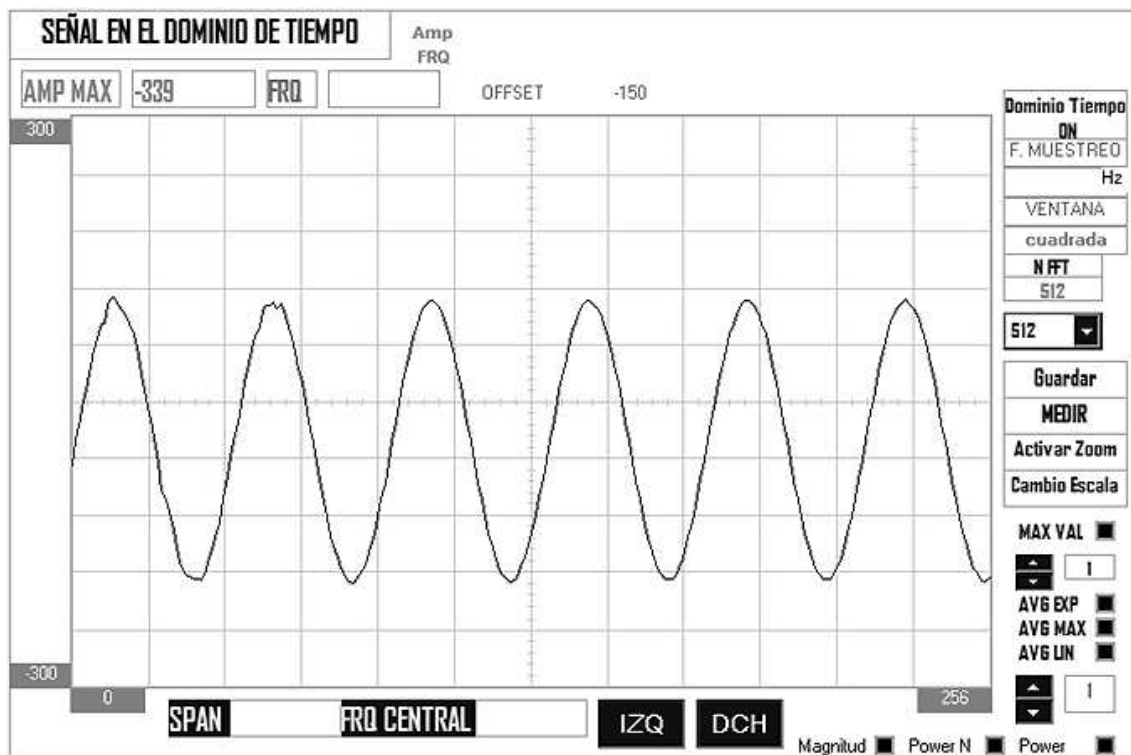
Señal de entrada 14 mVpp, Escala -300,300



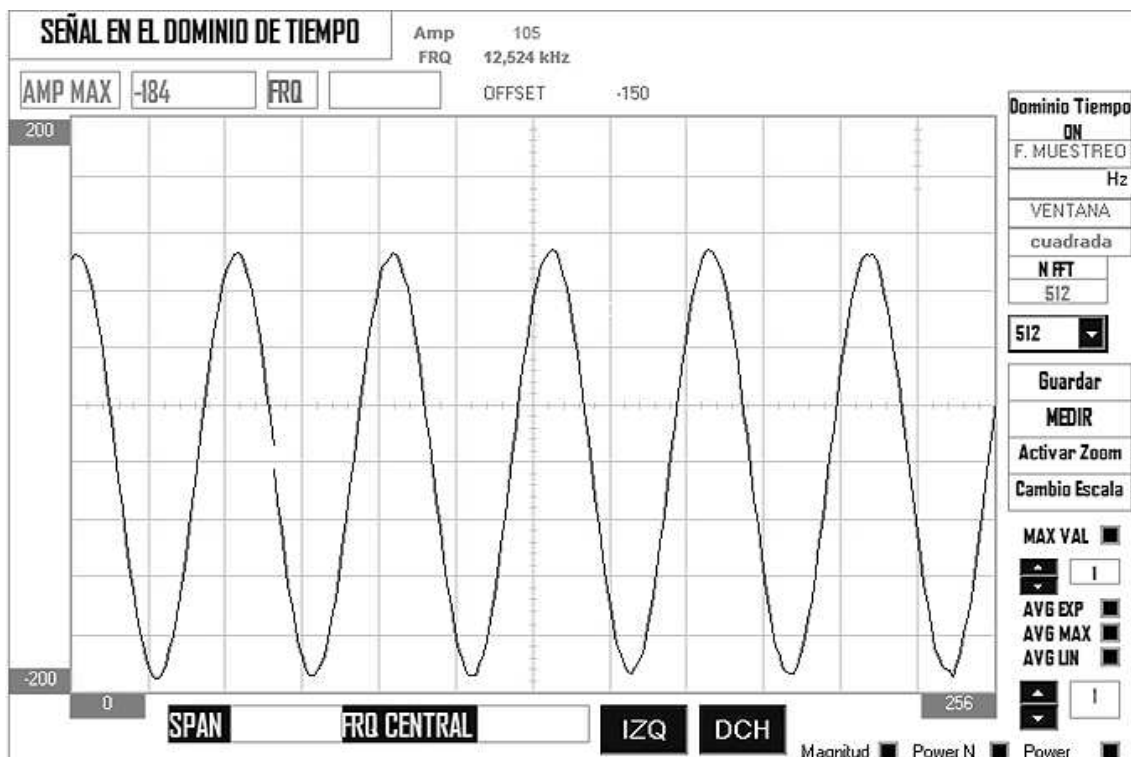
Escala -180, 180



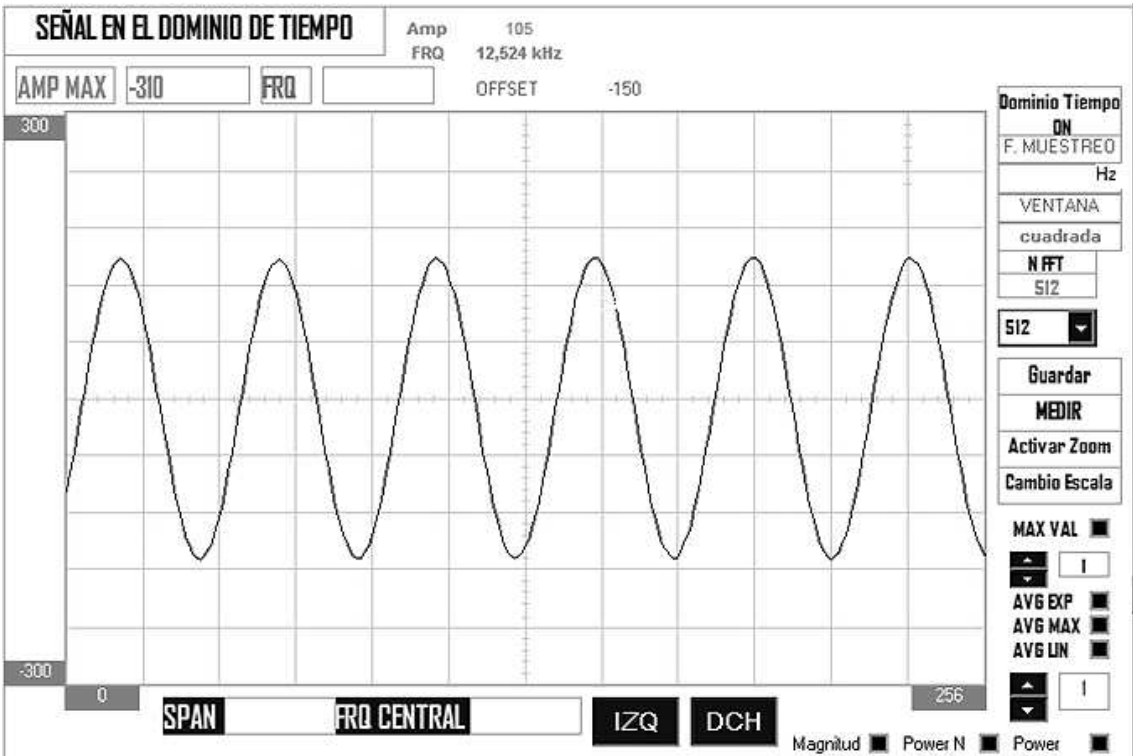
Señal de entrada 15 mVpp, Escala -300, 300



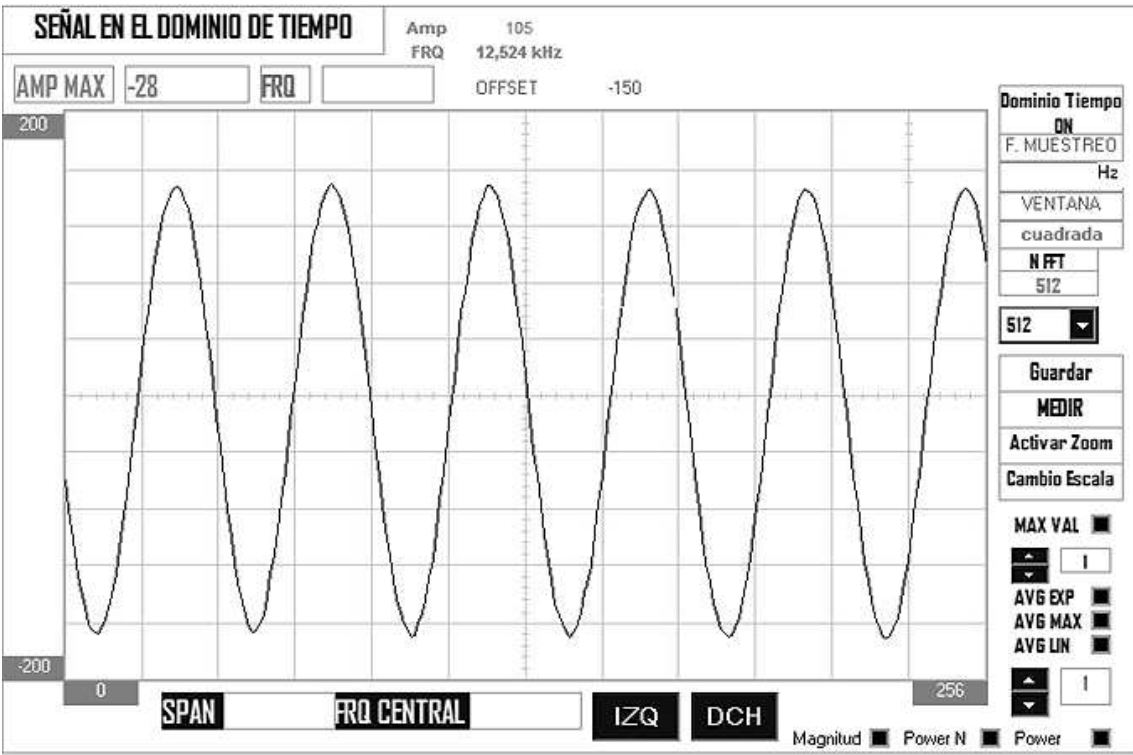
Escala -200, 200



Señal de entrada 16 mVpp, Escala -300, 300

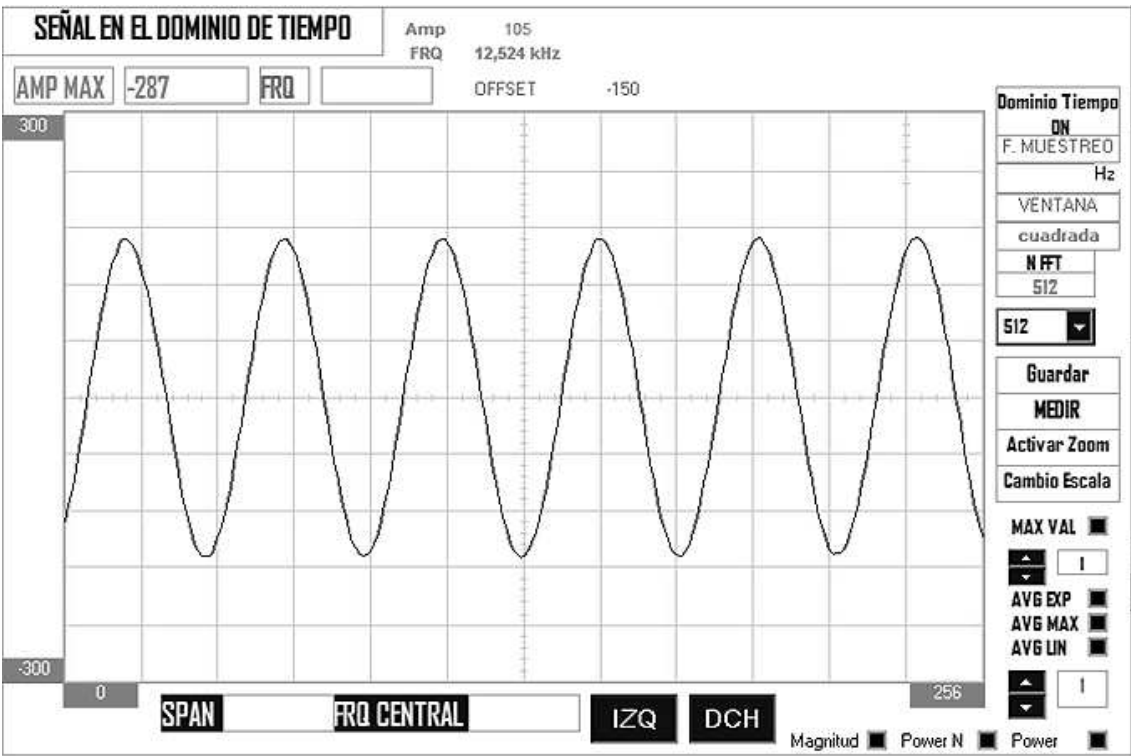


Escala -200, 200

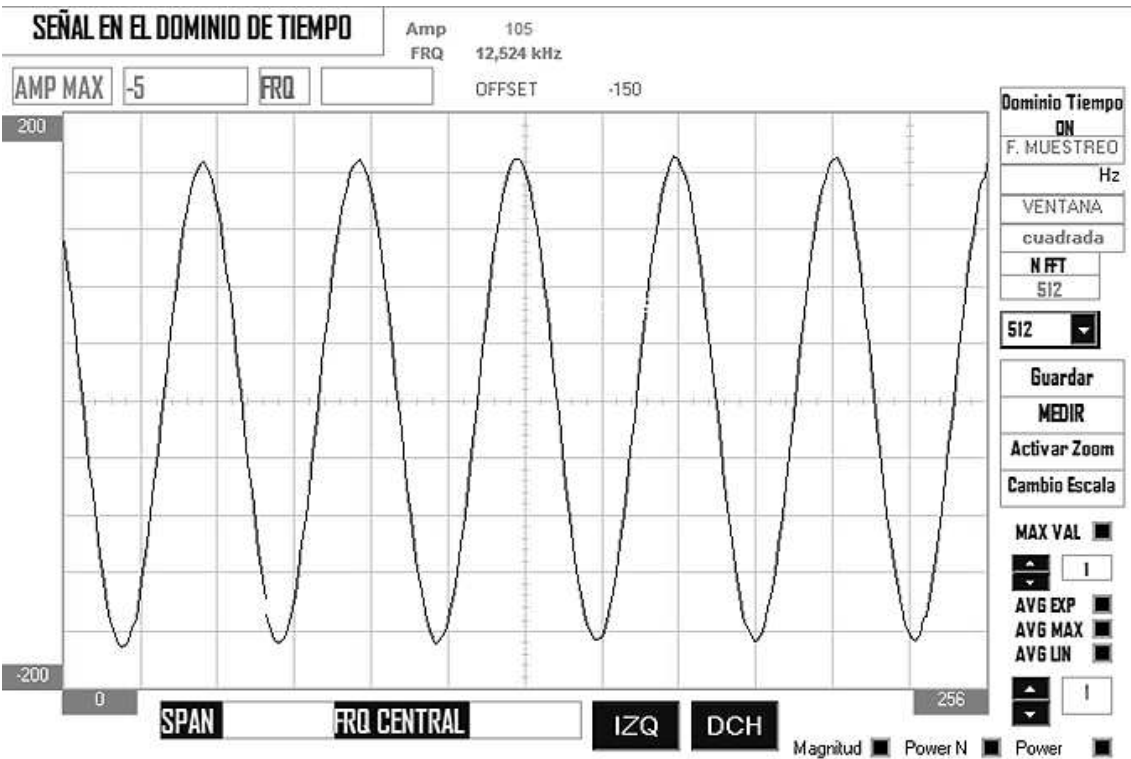




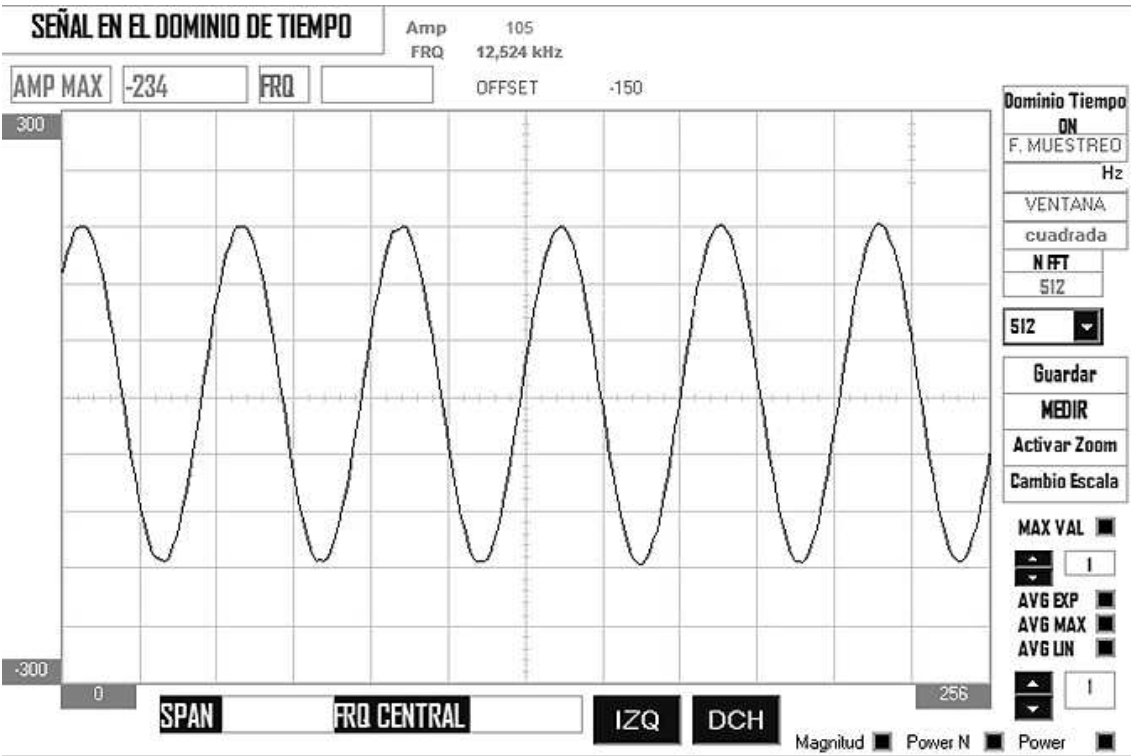
Señal de entrada 17 mVpp, Escala -300, 300



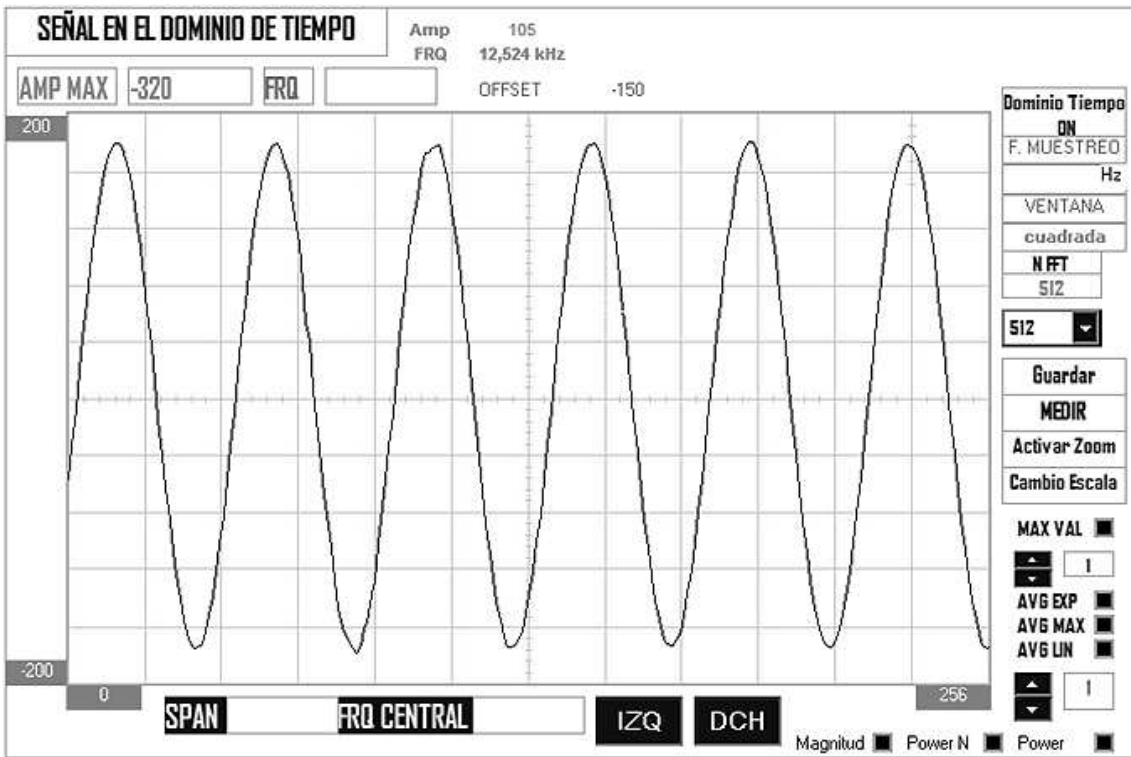
Escala -200, 200



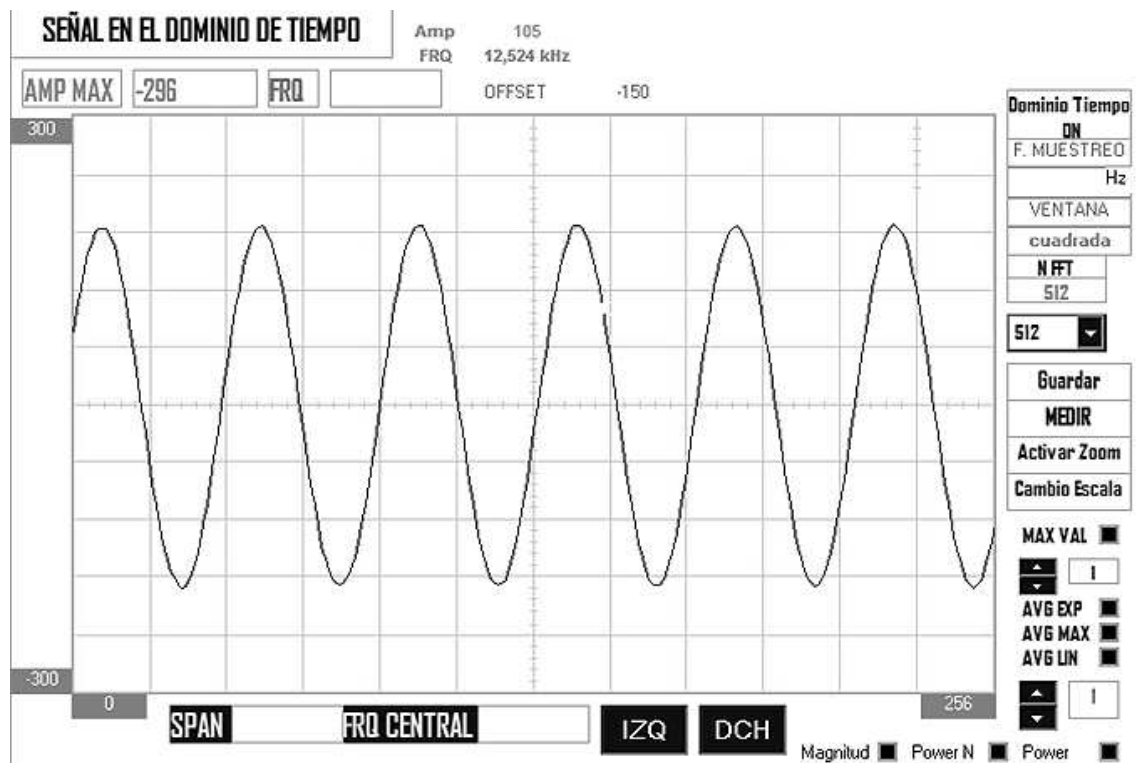
Señal de entrada 18 mVpp, Escala -300, 300



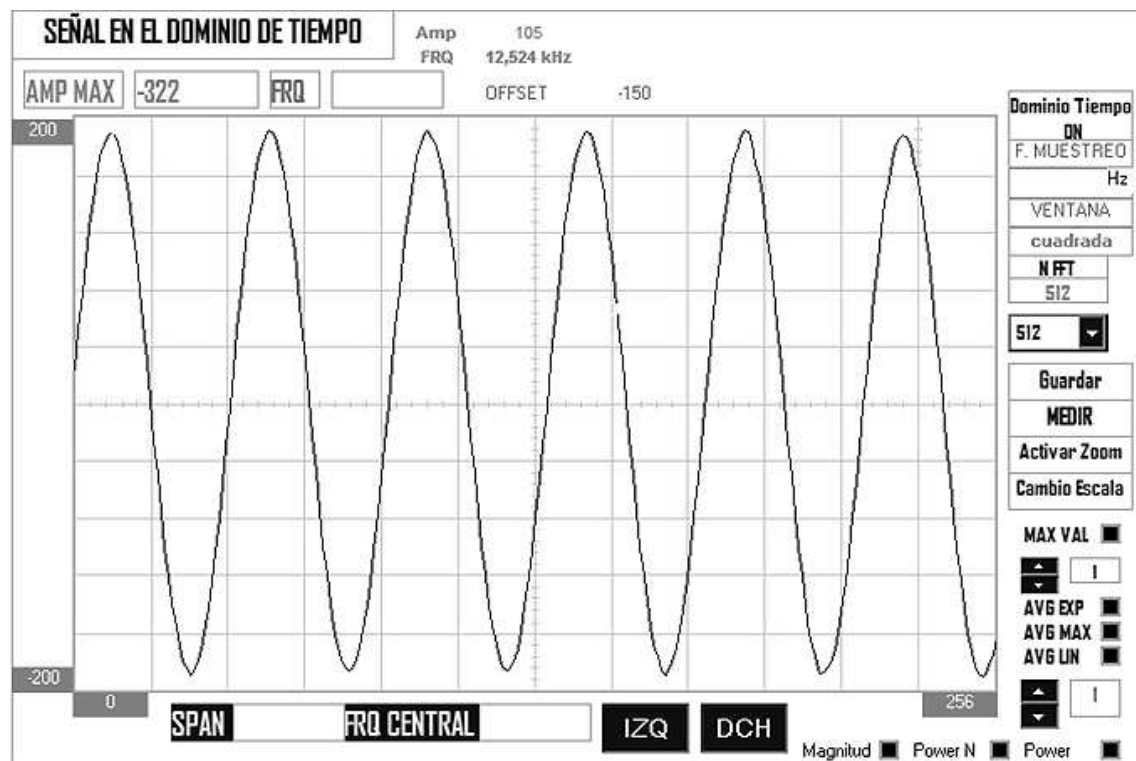
Escala -200, 200



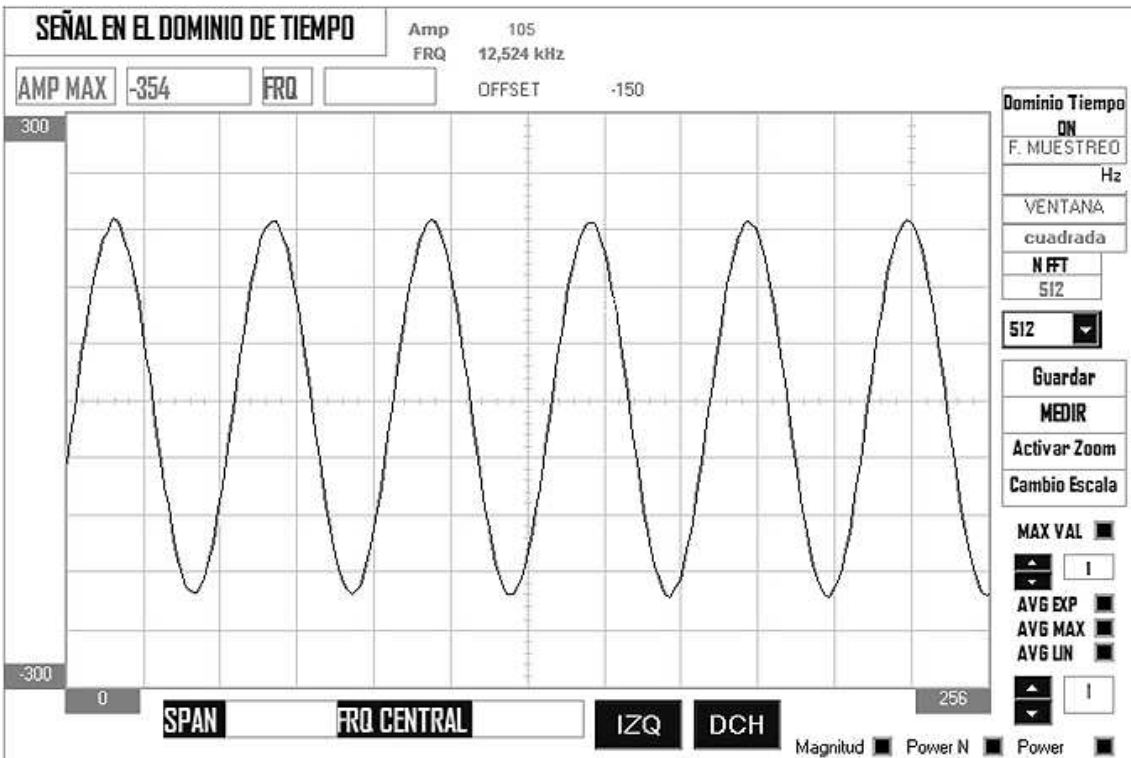
Señal de entrada 19 mVpp, Escala -300, 300



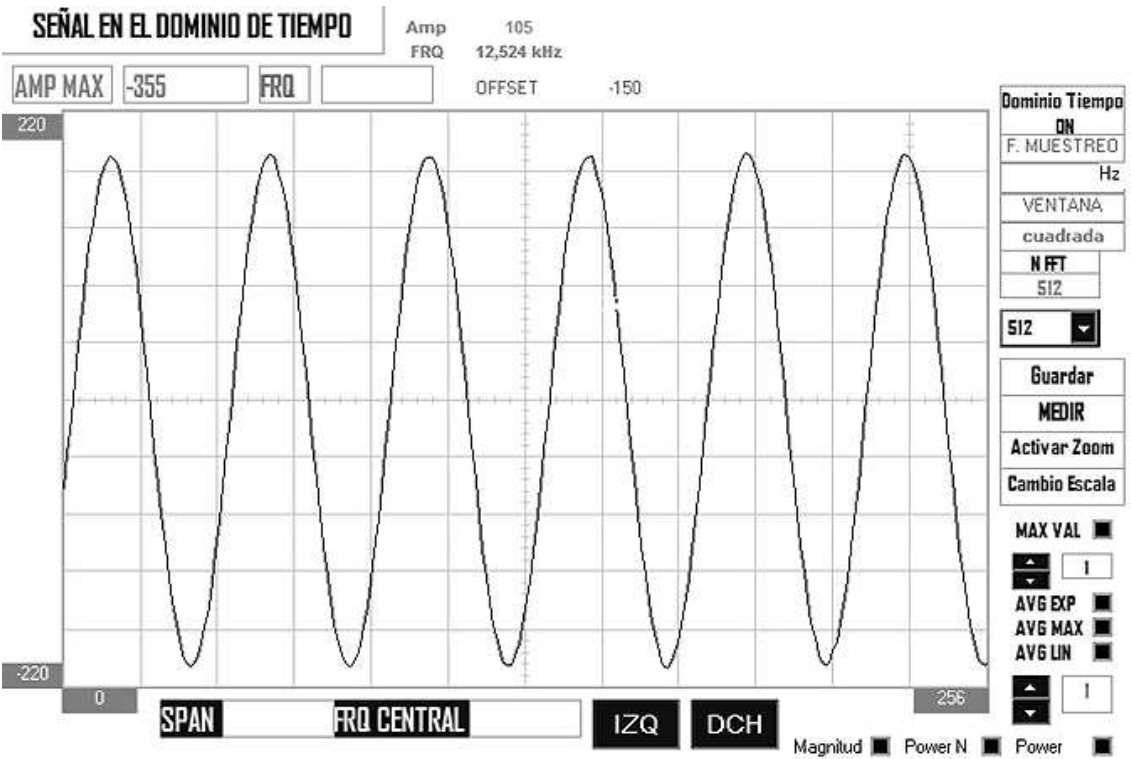
Escala -200, 200



Señal de entrada 20 mVpp, Escala -300, 300

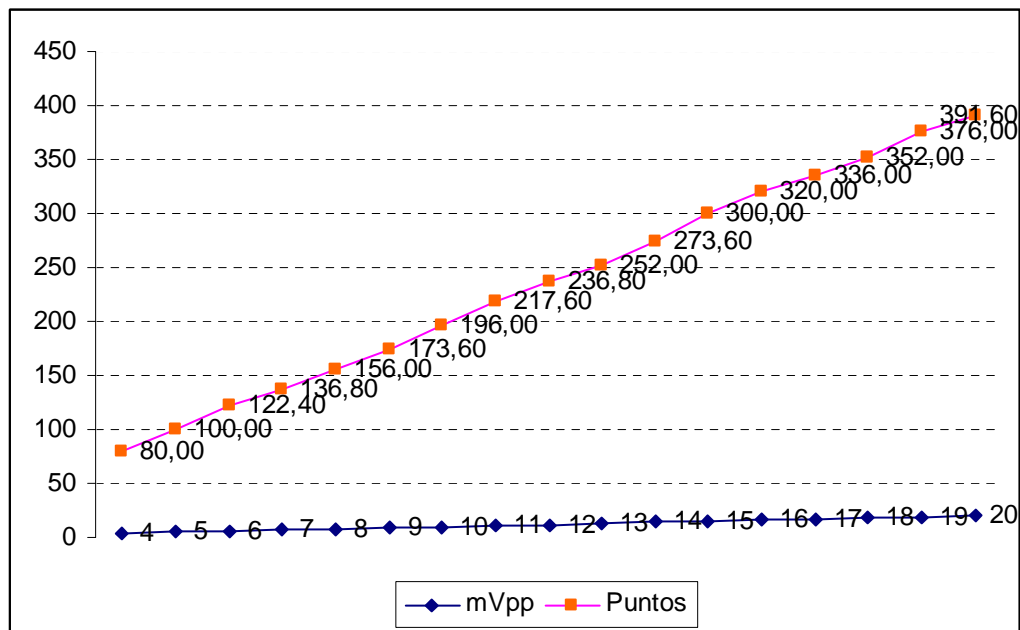


Escala -220, 220



# MEDICIONES

## ESTUDIO DE COMPORTAMIENTO DE LA TARJETA DE SONIDO FRENTE A UNA SEÑAL DE ENTRADA DE 1KHZ, FS 44000



mVpp	Puntos
4	80,00
5	100,00
6	122,40
7	136,80
8	156,00
9	173,60
10	196,00
11	217,60
12	236,80
13	252,00
14	273,60
15	300,00
16	320,00
17	336,00
18	352,00
19	376,00
20	391,60

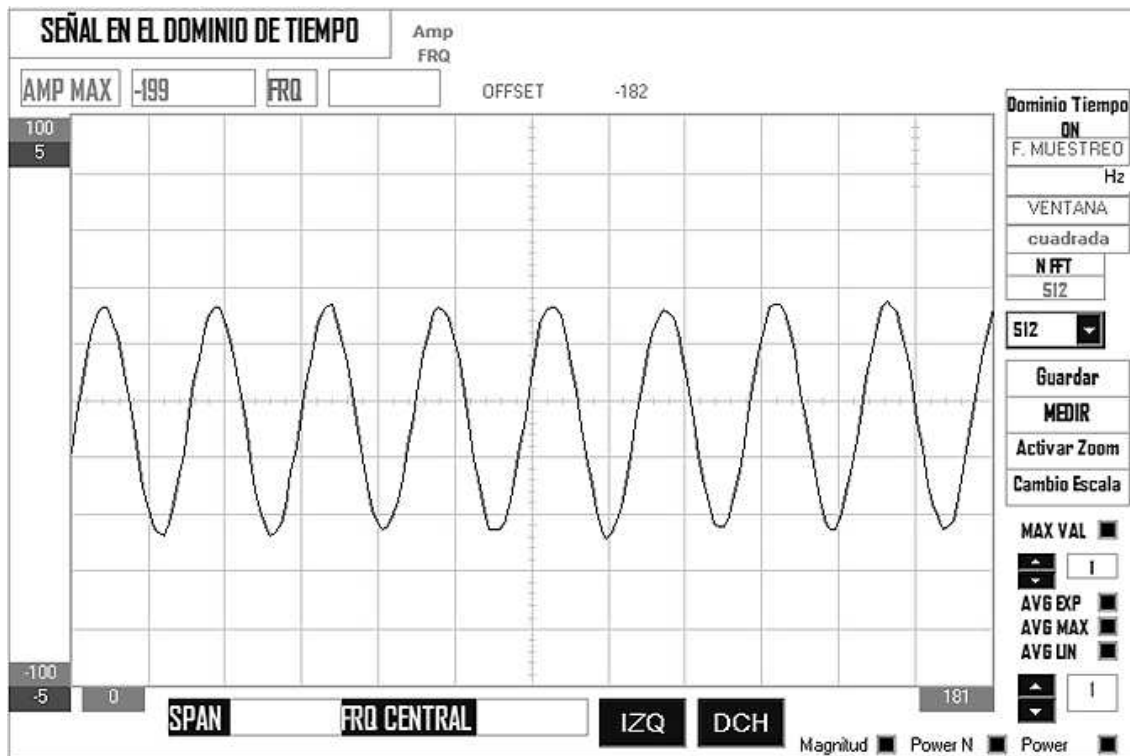
$$y=19,69x + 1,24$$

$$x=(y-1,24)/19,69$$

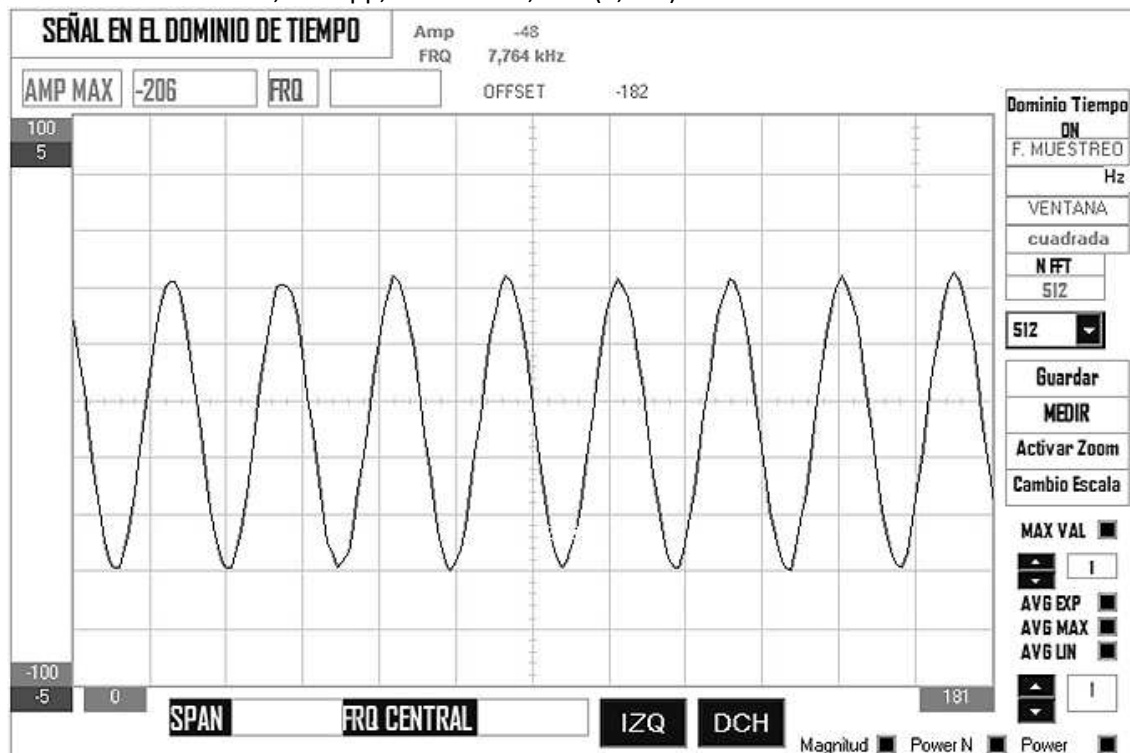
# MEDICIONES

## PROCESO DE CALIBRACIÓN UTILIZANDO SEÑAL DE ENTRADA DE 2KHZ

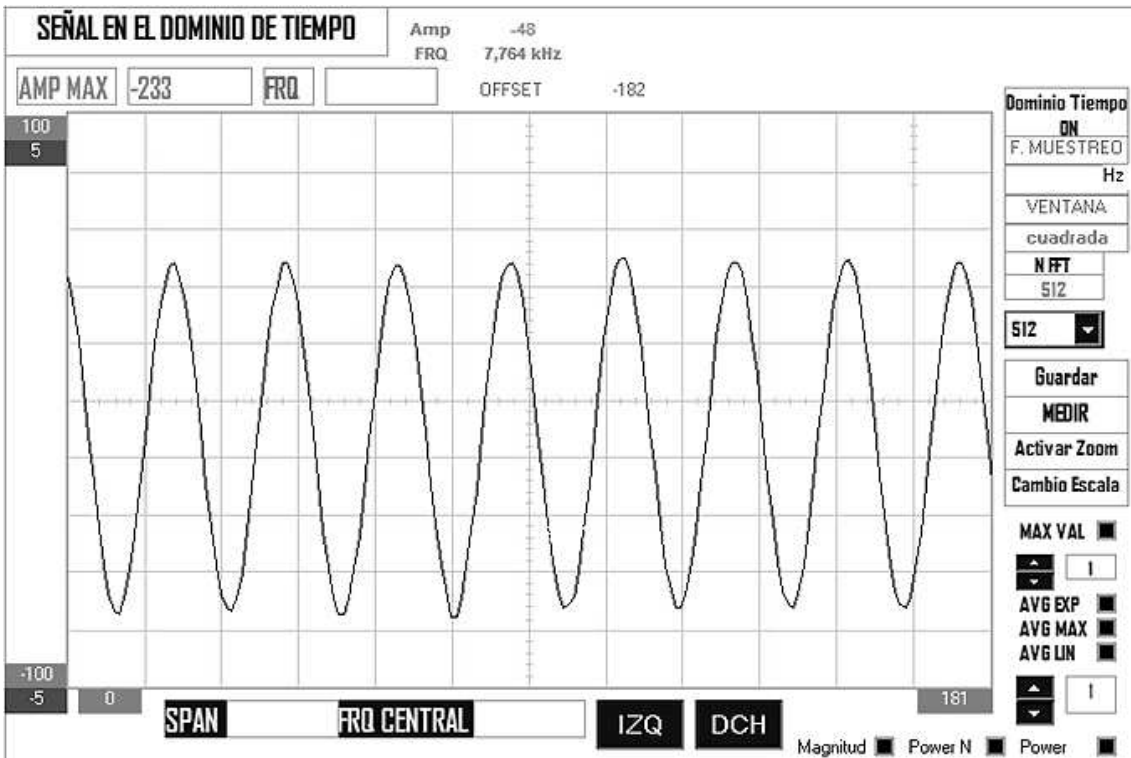
Señal de entrada 2kHz, 4mVpp , escala -100, 100 (0-181)



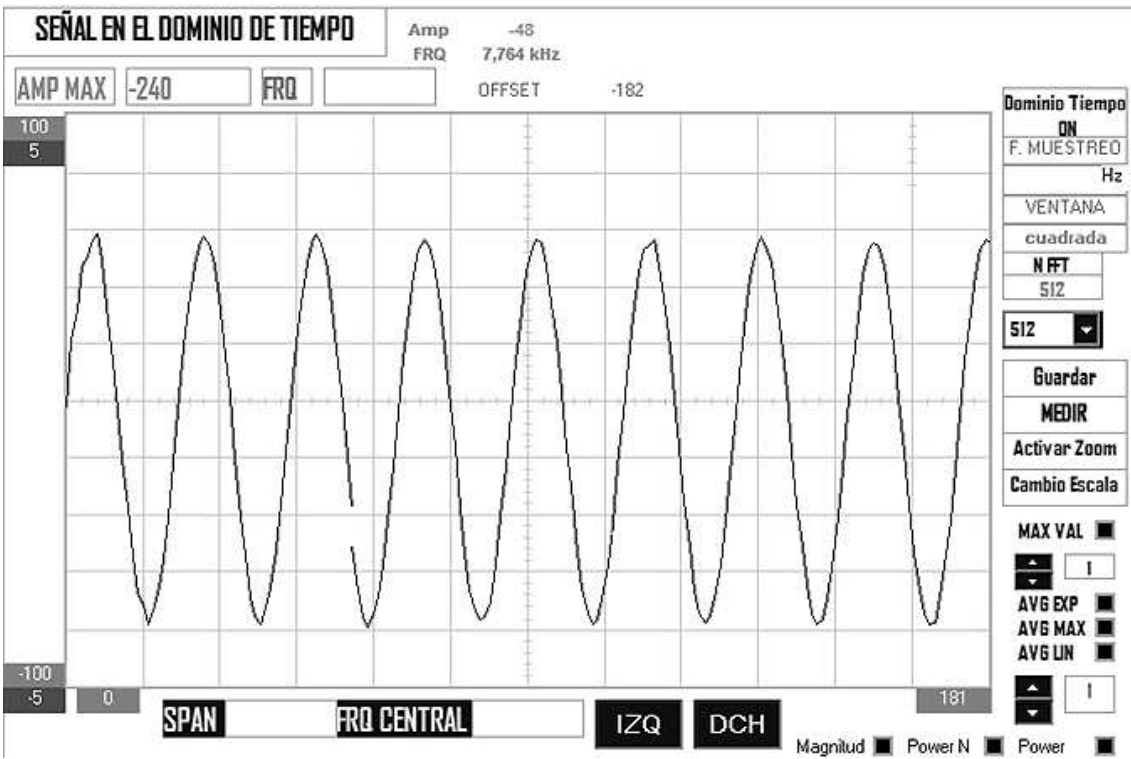
Señal de entrada 2kHz, 5 mVpp, escala -100, 100 (0,181)



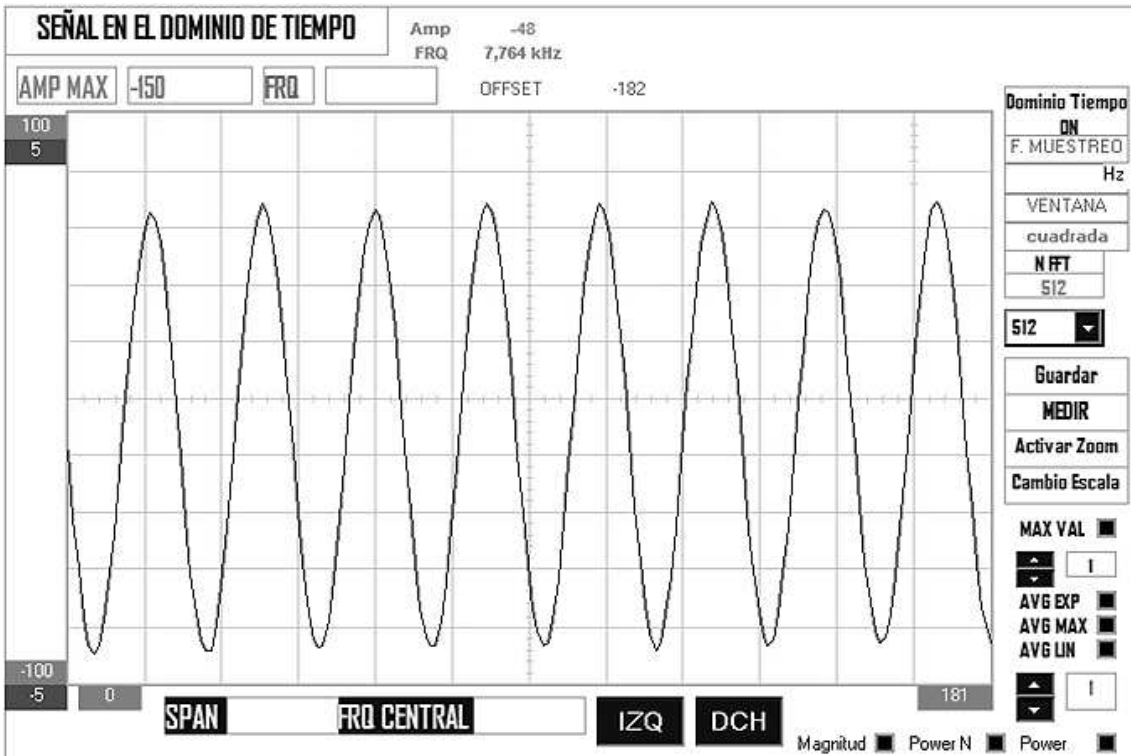
Señal de entrada 2kHz, 6mVpp,



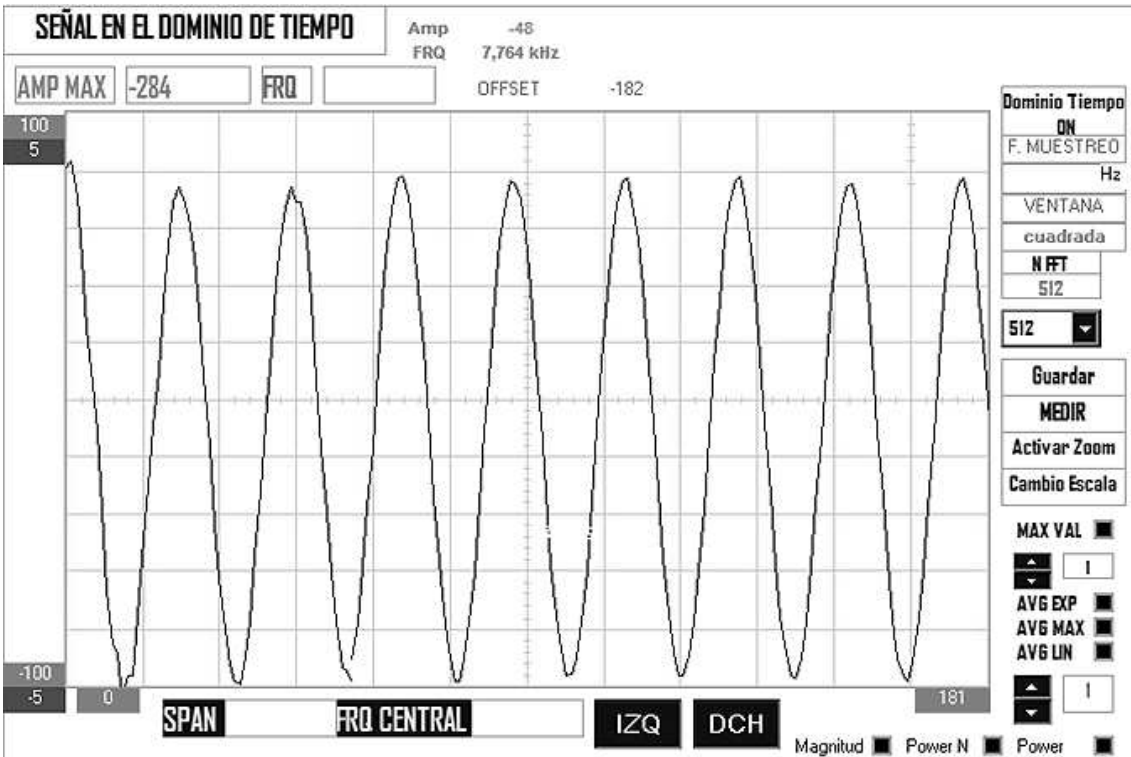
Señal de 7mVpp



Señal de 8mVpp

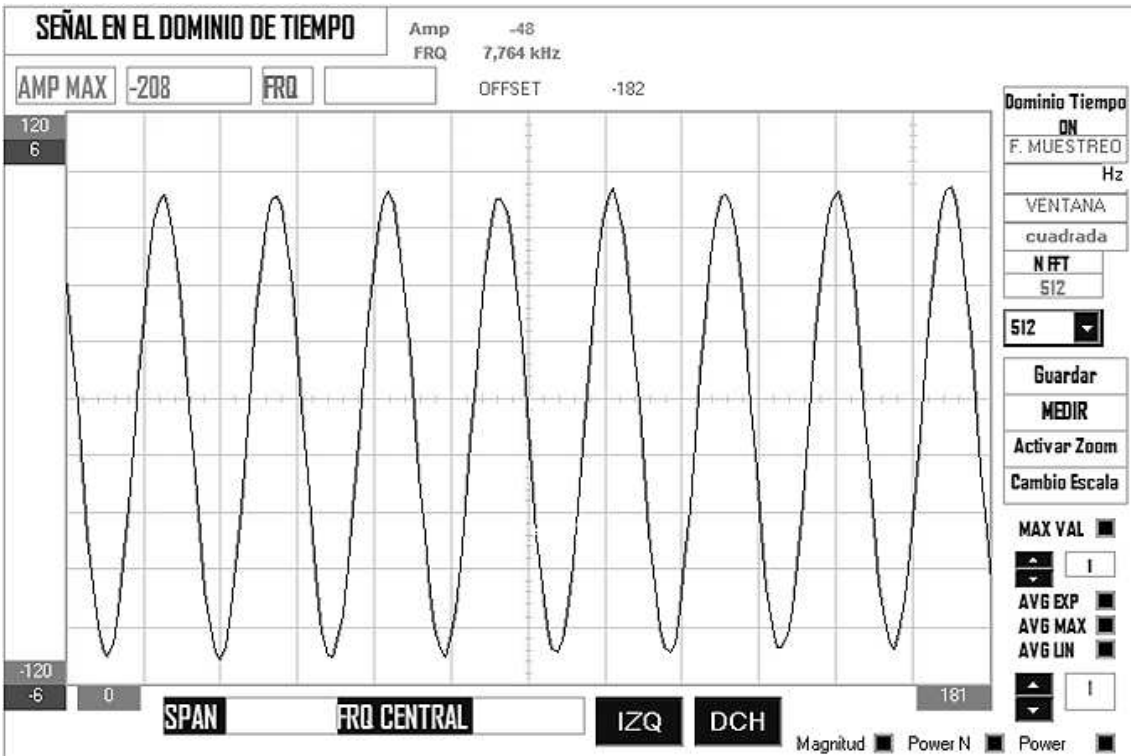


Señal de 9mVpp

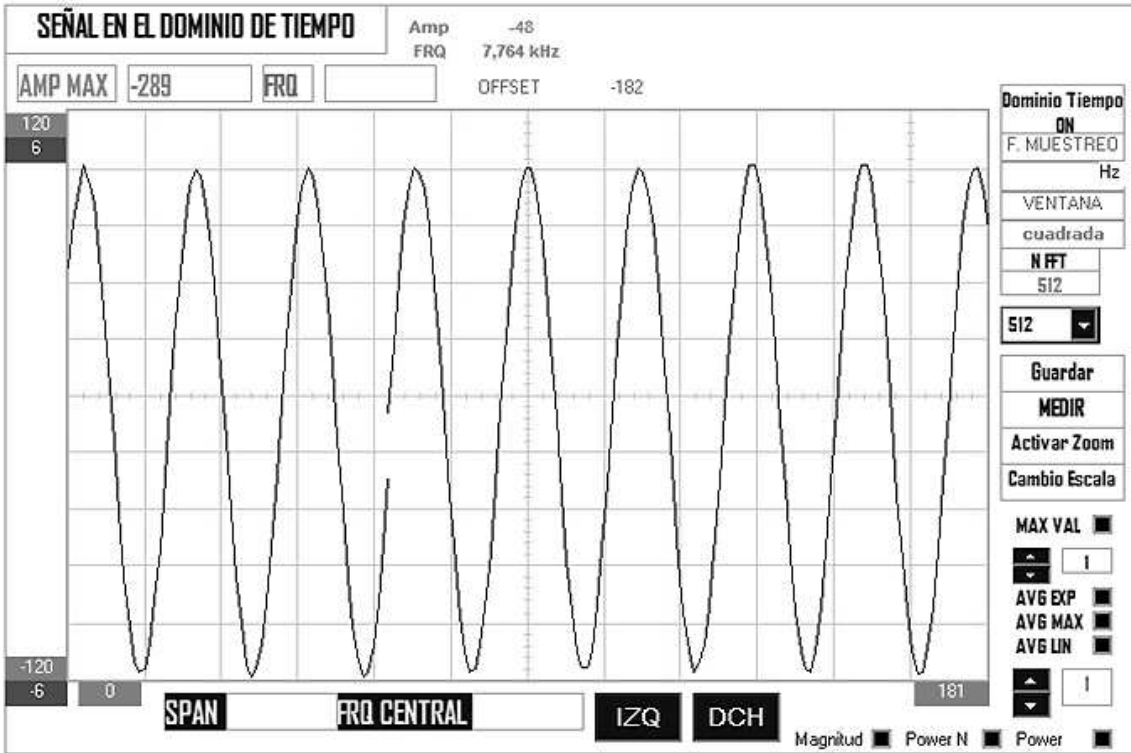




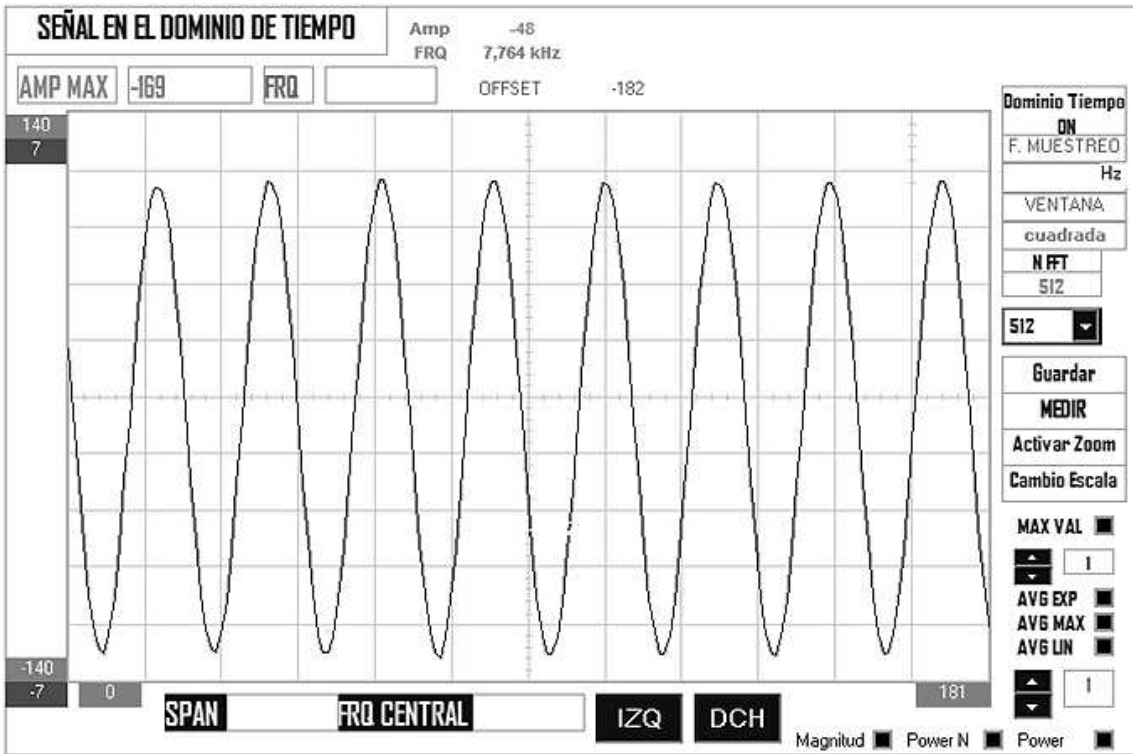
Señal de 10mVpp, 2kHz, Escala -120, 120



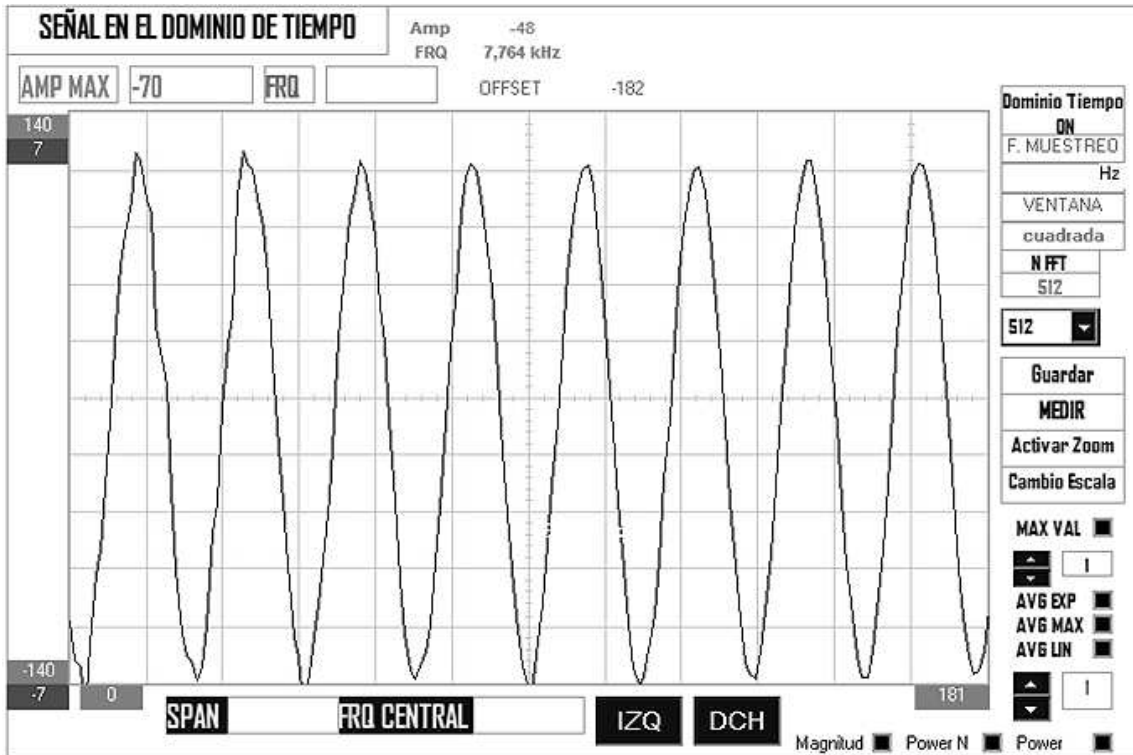
Señal de 11 mVpp, 2kHz, Escala -120, 120



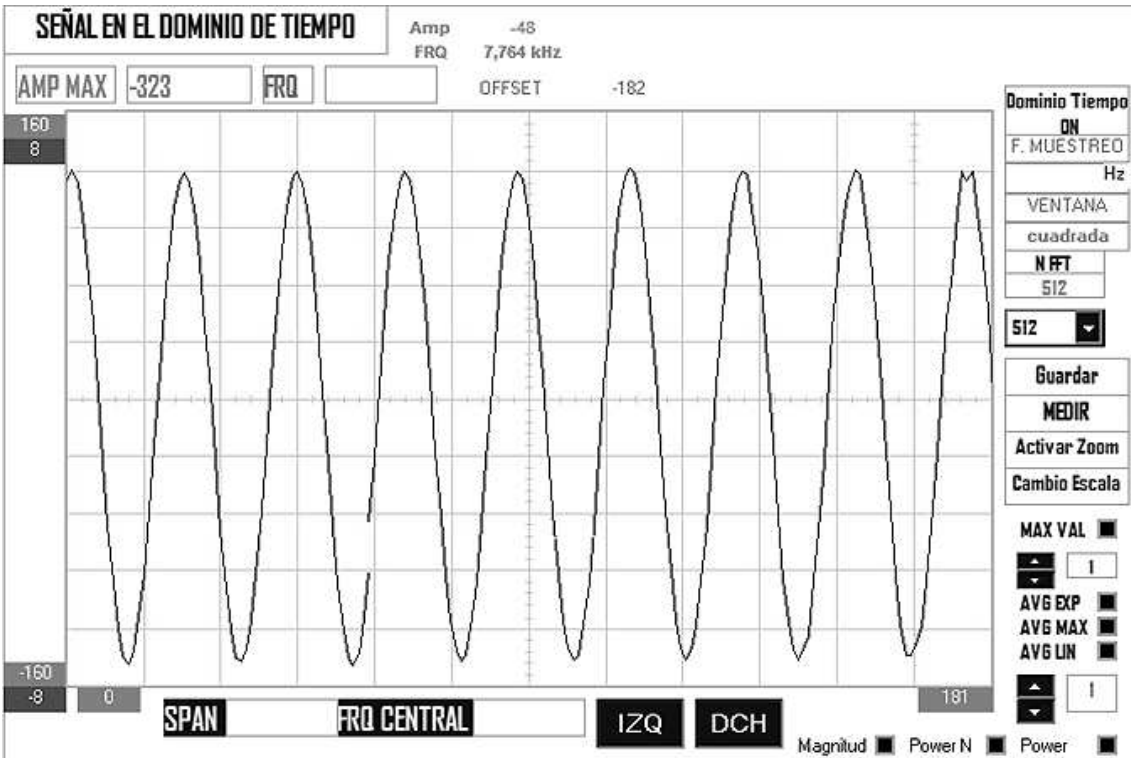
Señal de 12 mVpp, 2kHz, Escala -140, 140



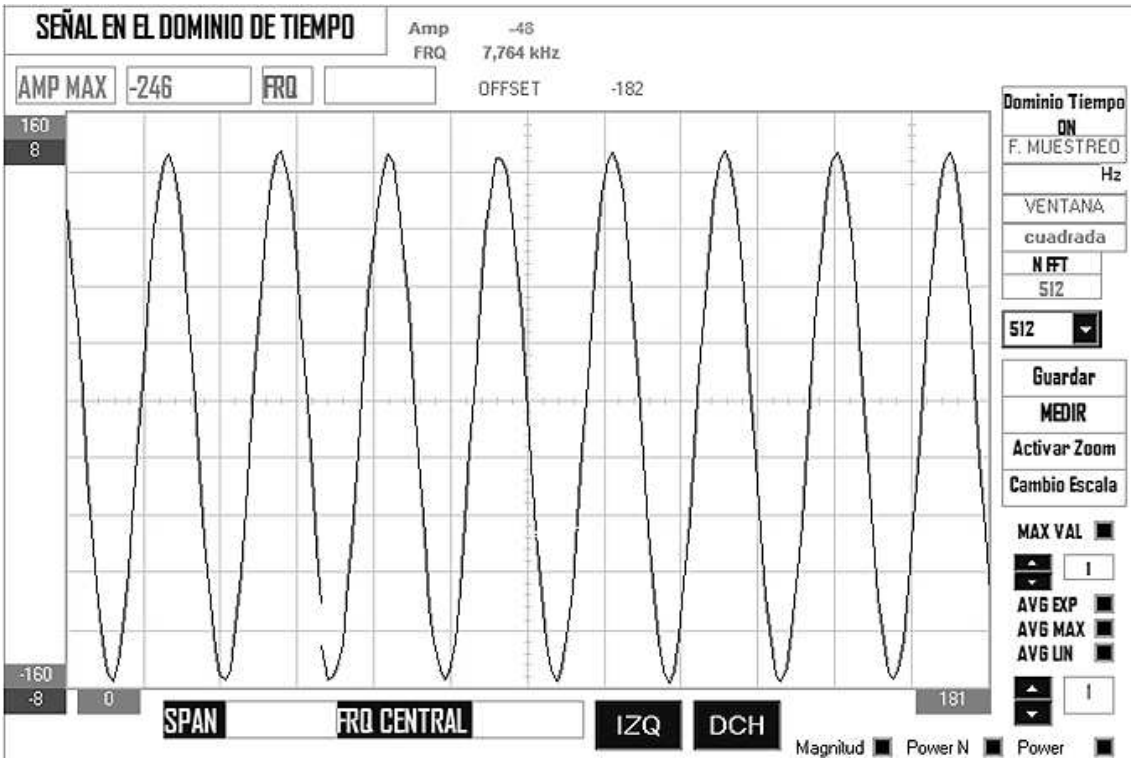
Señal de 13mVpp, 2kHz, interval -140, 140



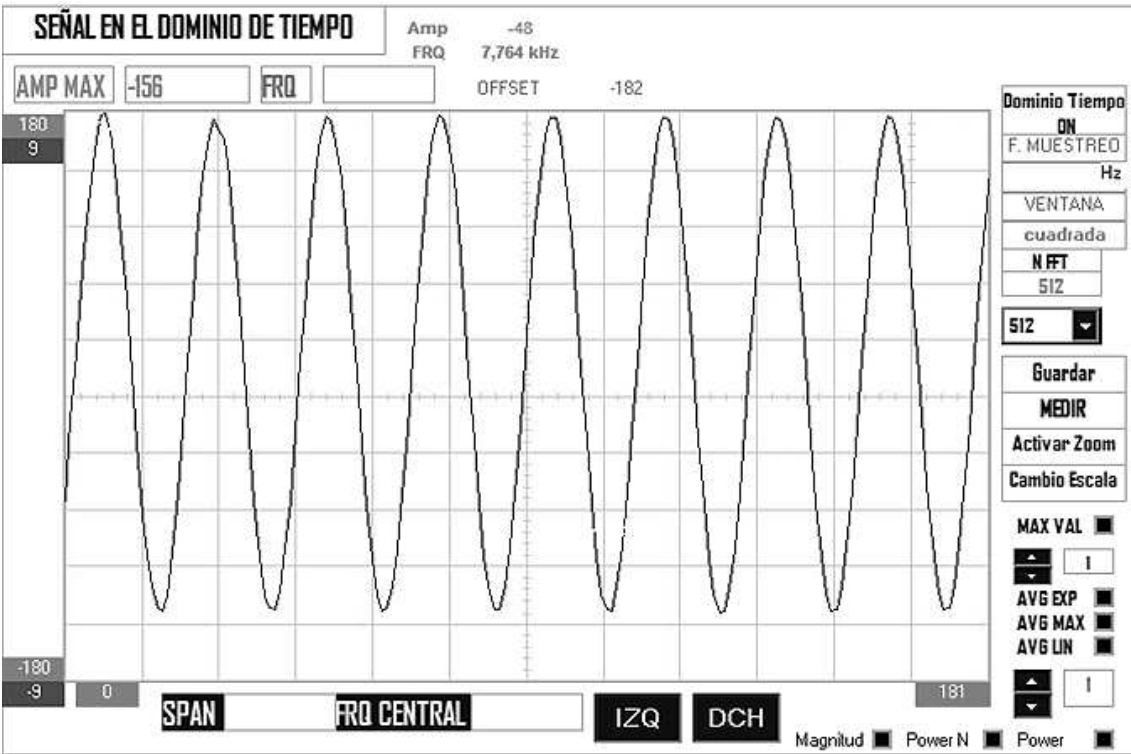
Señal de 14mVpp, 2kHz, escala -160, 160



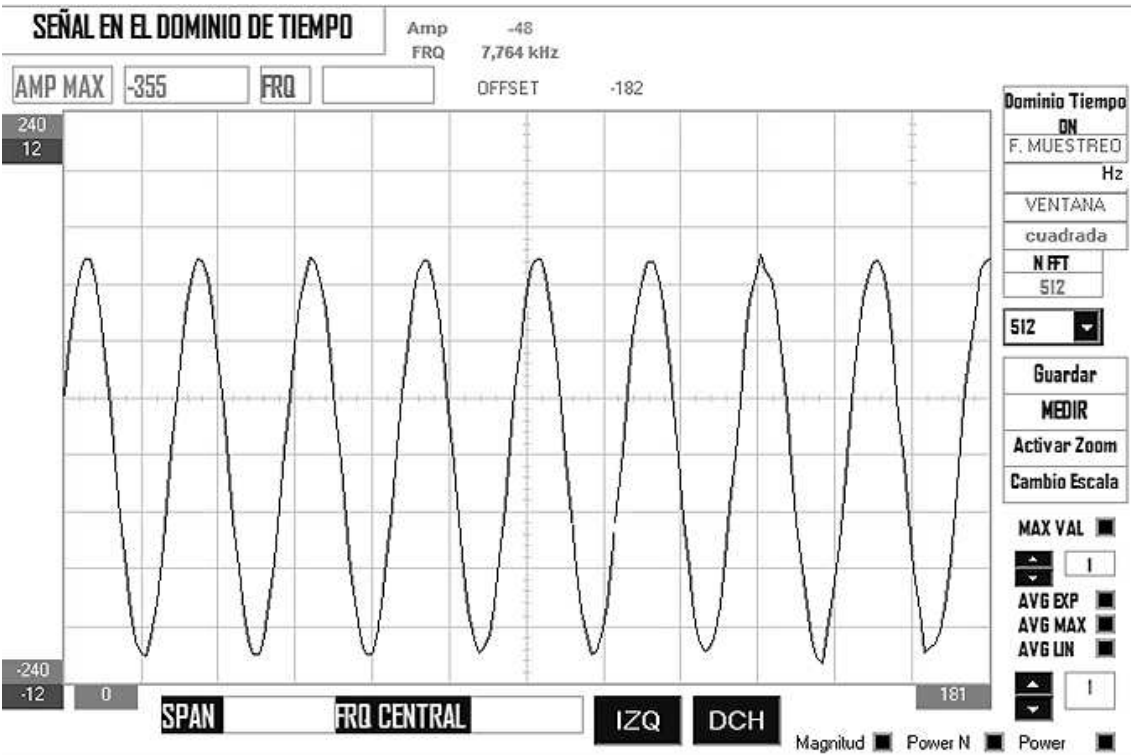
Señal de 15 mVpp, 2kHz, escala -160, 160



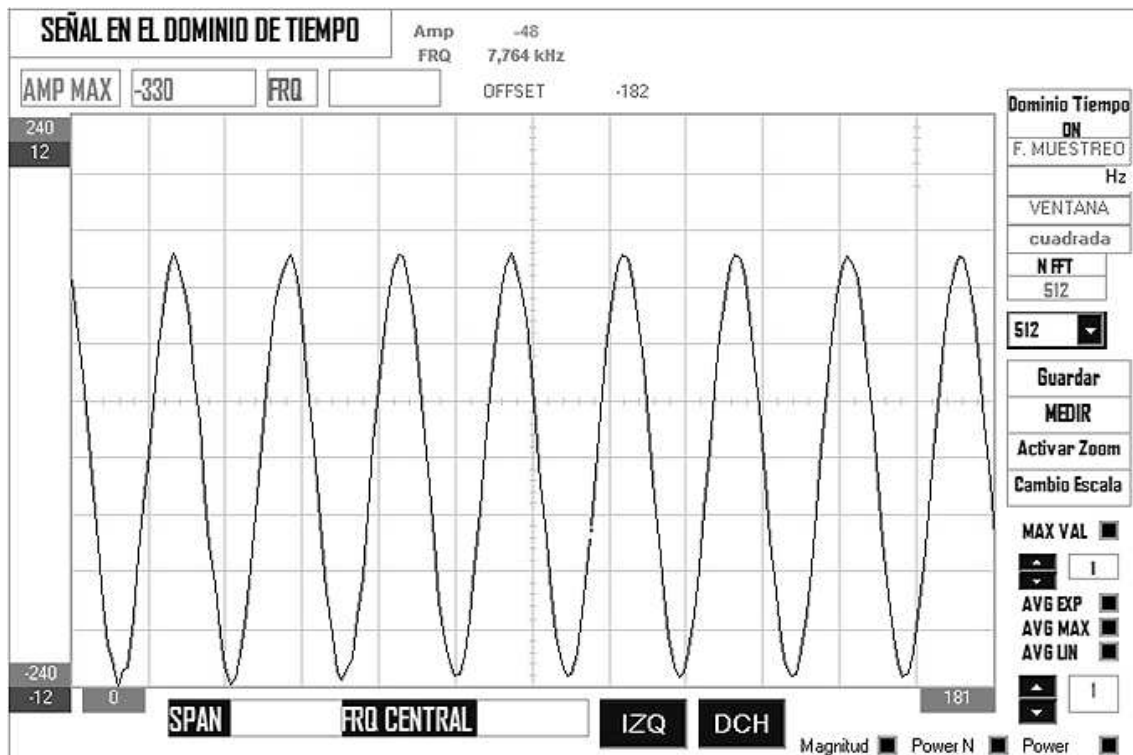
Señal de 16mVpp, 2kHz, escala -180, 180



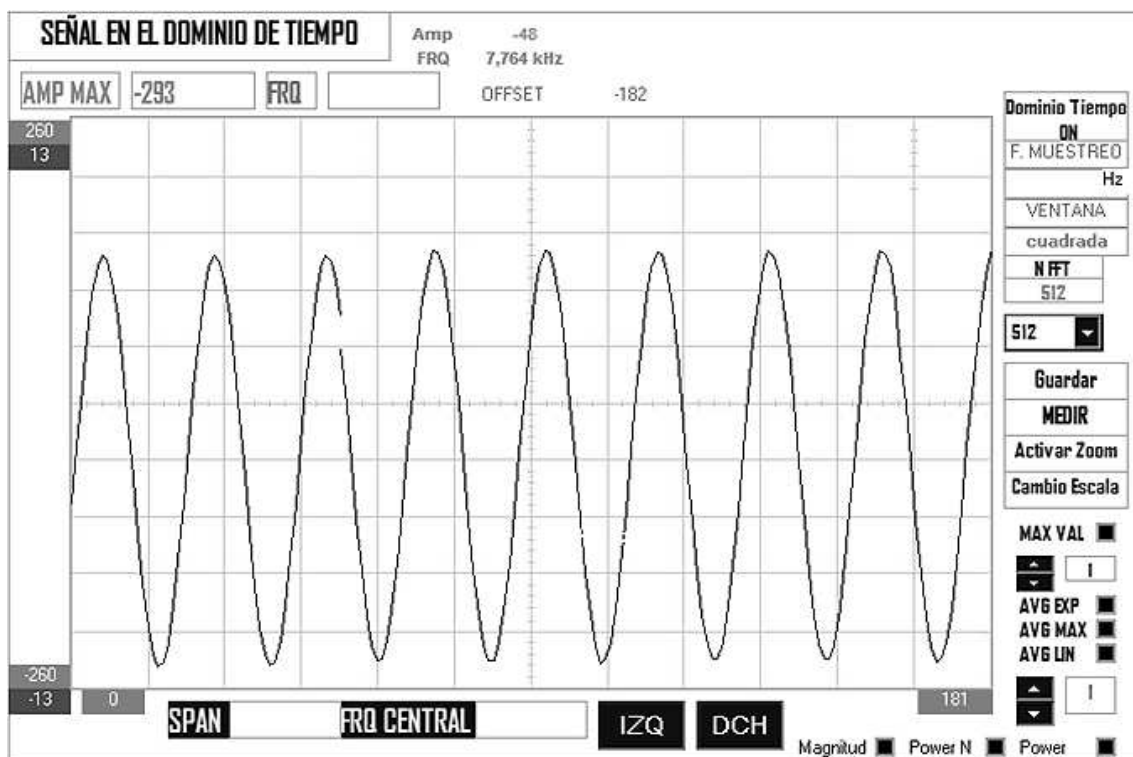
Señal 17mVpp, 2kHz, escala -240, 240



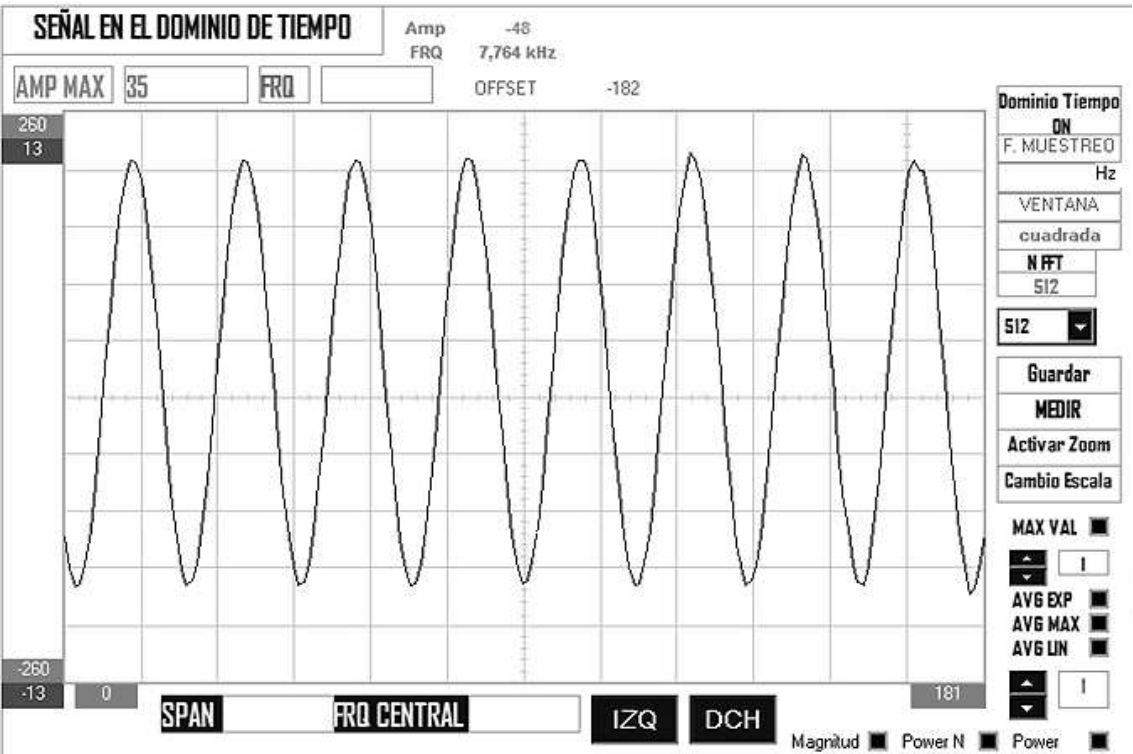
Señal 18mVpp, 2kHz, escala -240, 240



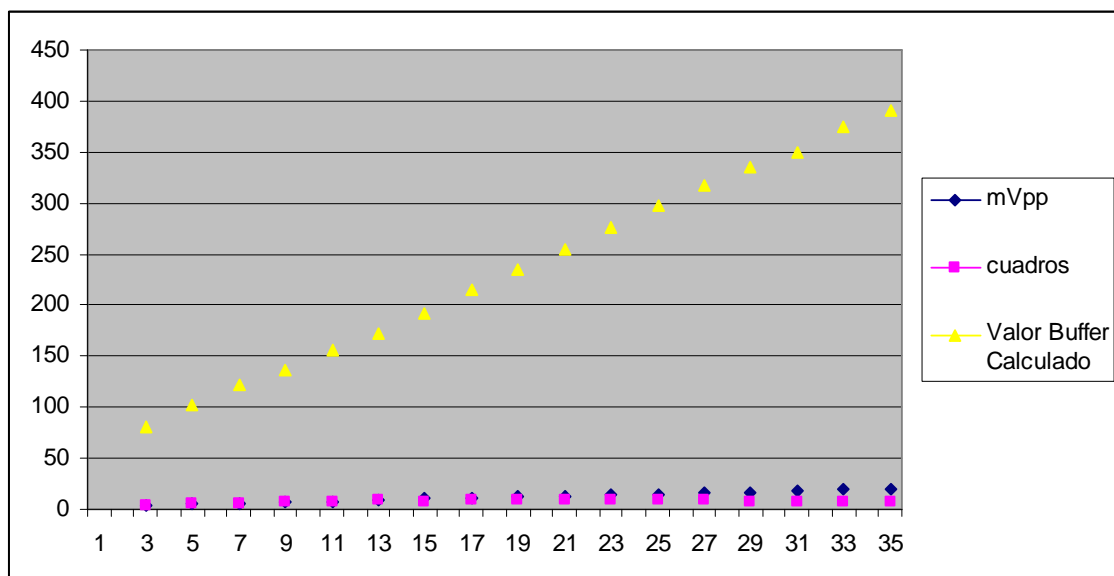
Señal de entrada 19mVpp, 2kHz, escala -26, 260



Señal de entrada 20mVpp, 2kHz, escala -260, 260

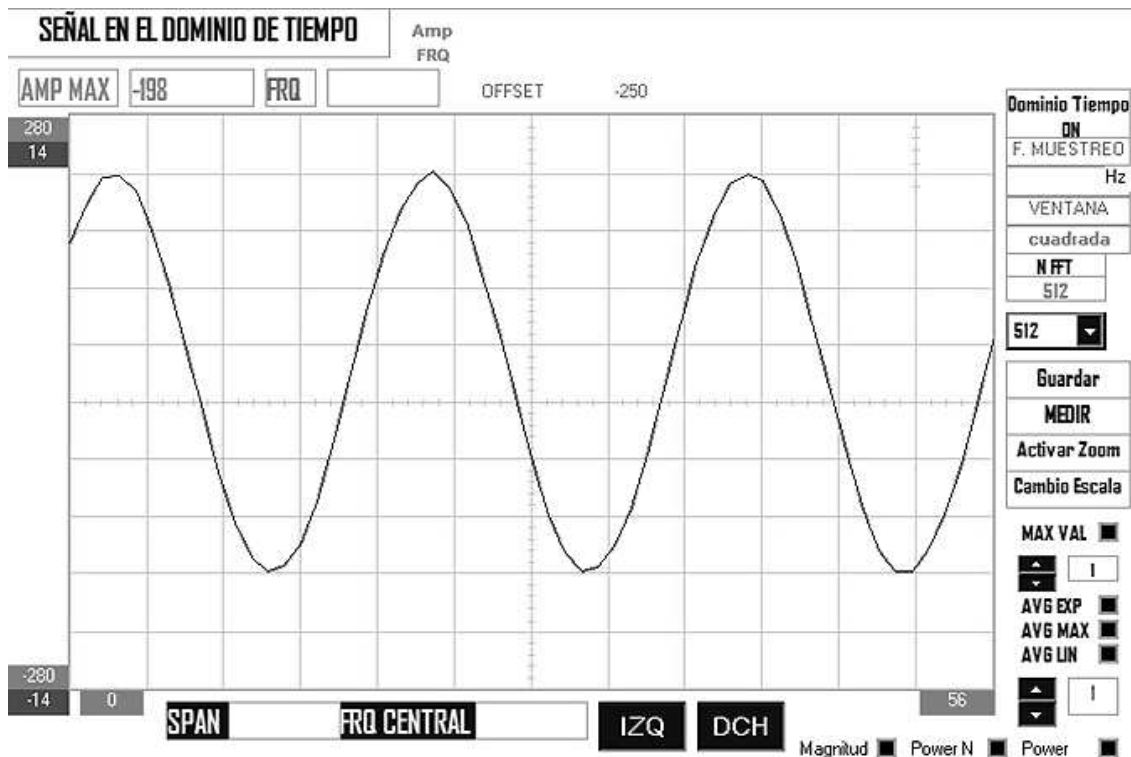


F	mVpp	cuadros	Valor Buffer	Calculado
2kHz		4	4	80
2kHz				
2kHz		5	5,1	102
2kHz				
2kHz		6	6,1	122
2kHz				
2kHz		7	6,8	136
2kHz				
2kHz		8	7,8	156
2kHz				
2kHz		9	8,6	172
2kHz				
2kHz		10	8	192
2kHz				
2kHz		11	9	216
2kHz				
2kHz		12	8,4	235,2
2kHz				
2kHz		13	9,1	254,8
2kHz				
2kHz		14	8,6	275,2
2kHz				
2kHz		15	9,3	297,6
2kHz				
2kHz		16	8,8	316,8
2kHz				
2kHz		17	7	336
2kHz				
2kHz		18	7,3	350,4
2kHz				
2kHz		19	7,2	374,4
2kHz				
2kHz		20	7,5	390

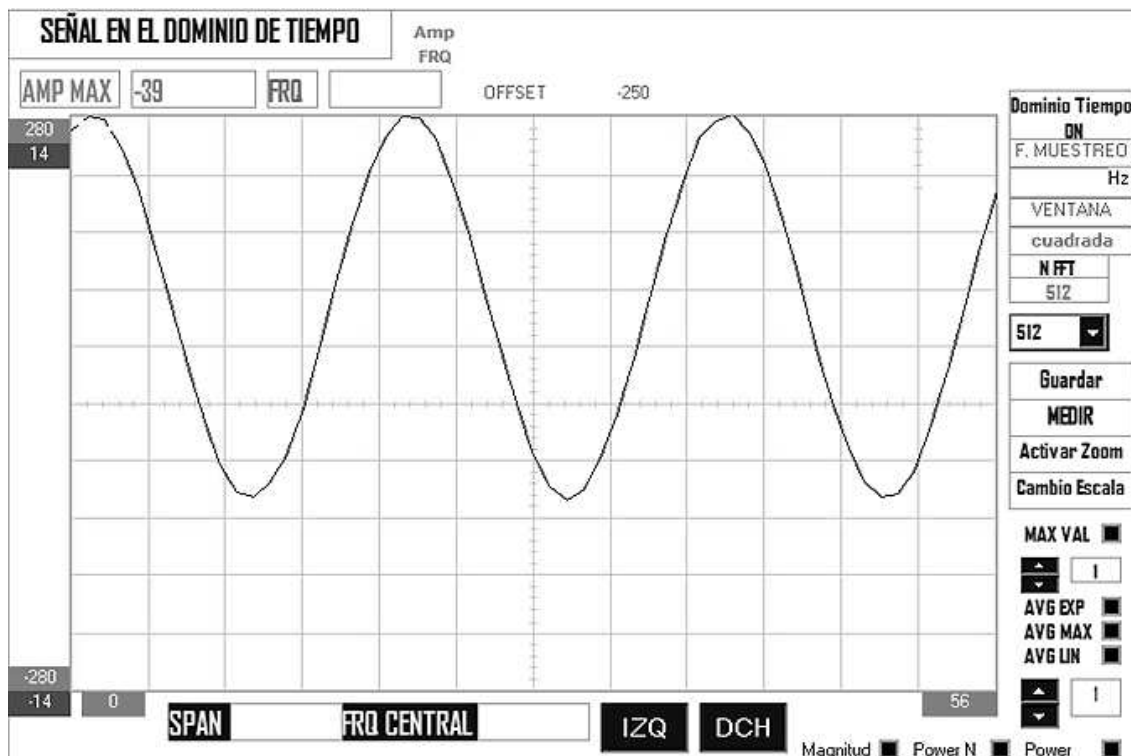


## MEDICIONES: señal de entrada 10kHz FS 192000, nivel de entrada desde 4mVpp-20mVpp

Señal de entrada 10kHz, nivel 20mVpp, Escala -280, 280, 0, 56, FS 192000

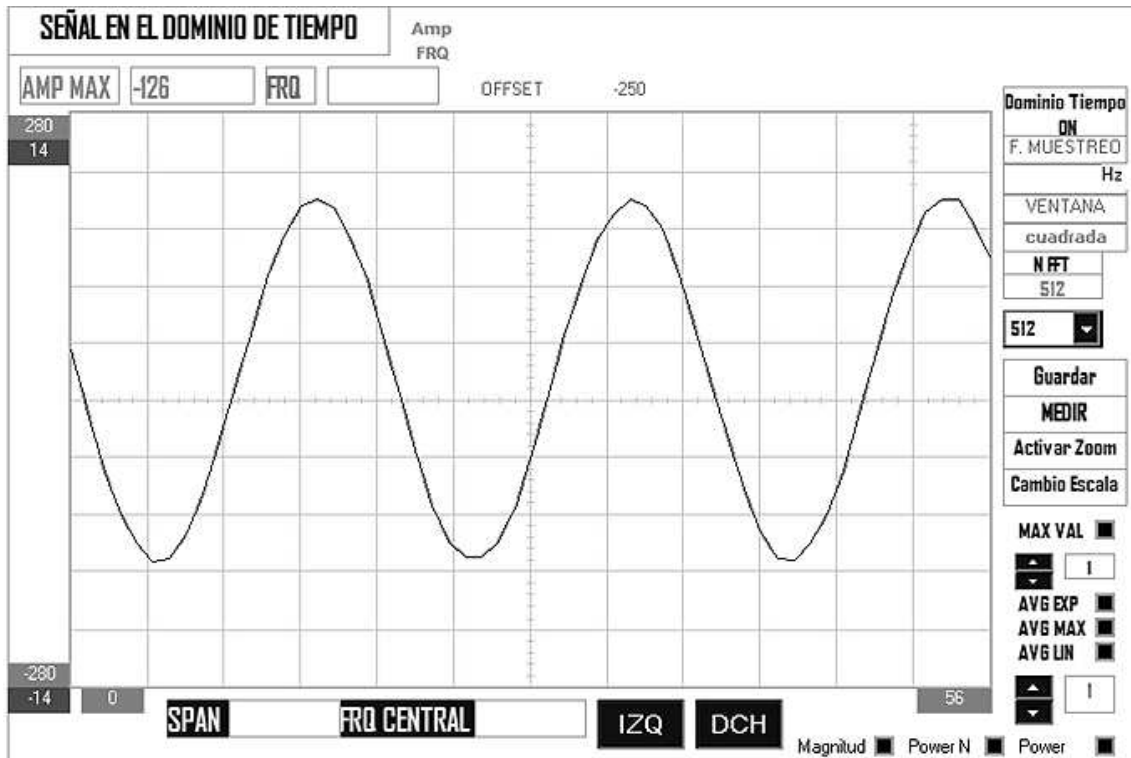


Señal de entrada 10kHz, nivel 19mVpp, Escala -280, 280, 0, 56, FS 192000

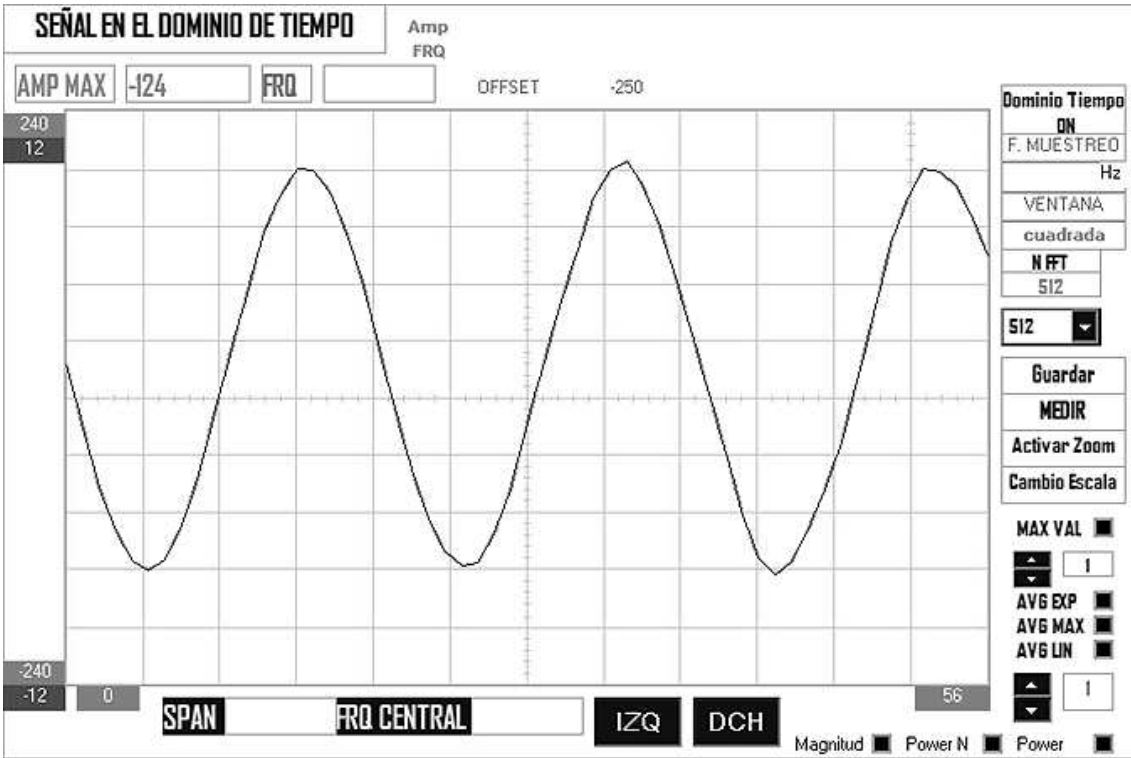




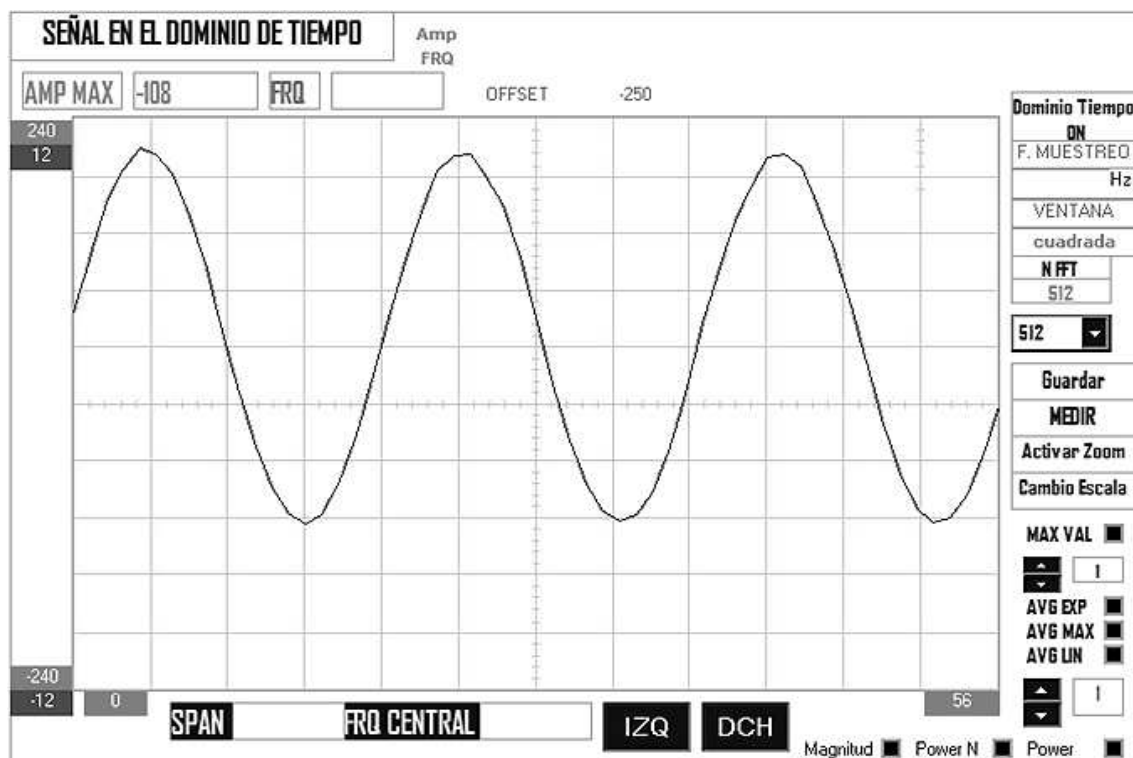
Señal de entrada 10kHz, nivel 18mVpp, Escala -280, 280, 0, 56, FS 192000



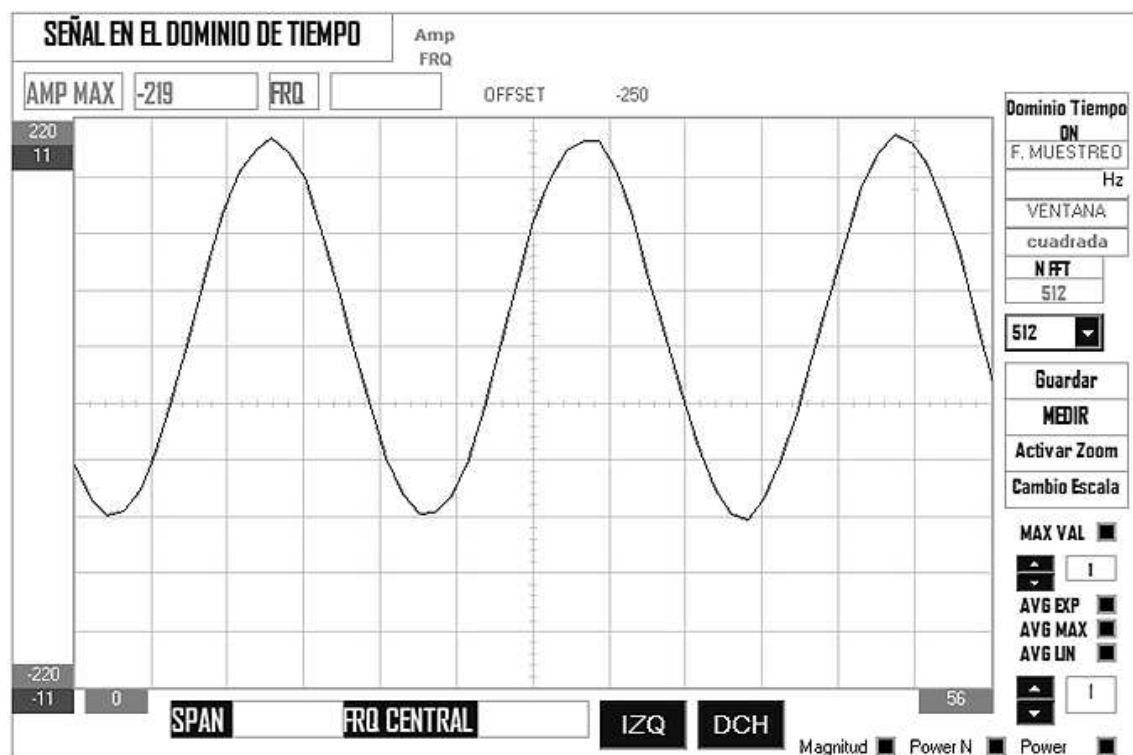
Señal de entrada 10kHz, nivel 17mVpp, Escala -240, 240, 0, 56, FS 192000



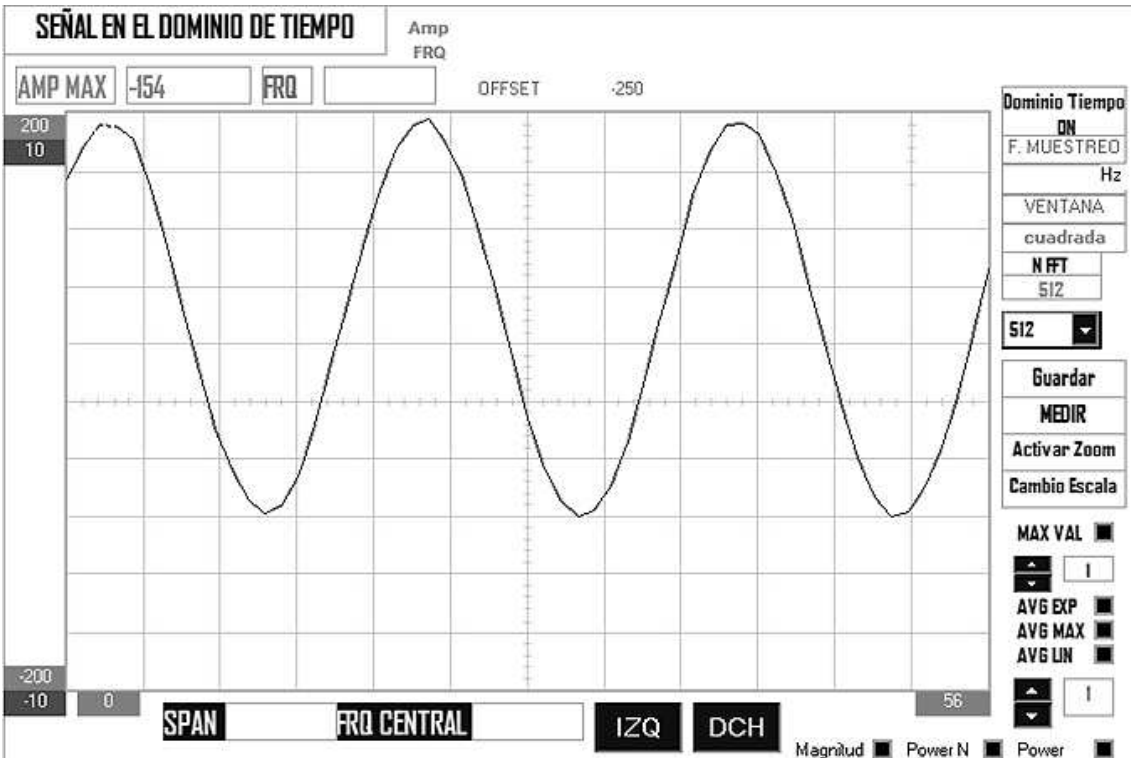
Señal de entrada 10kHz, nivel 16mVpp, Escala -240, 240, 0, 56, FS 192000



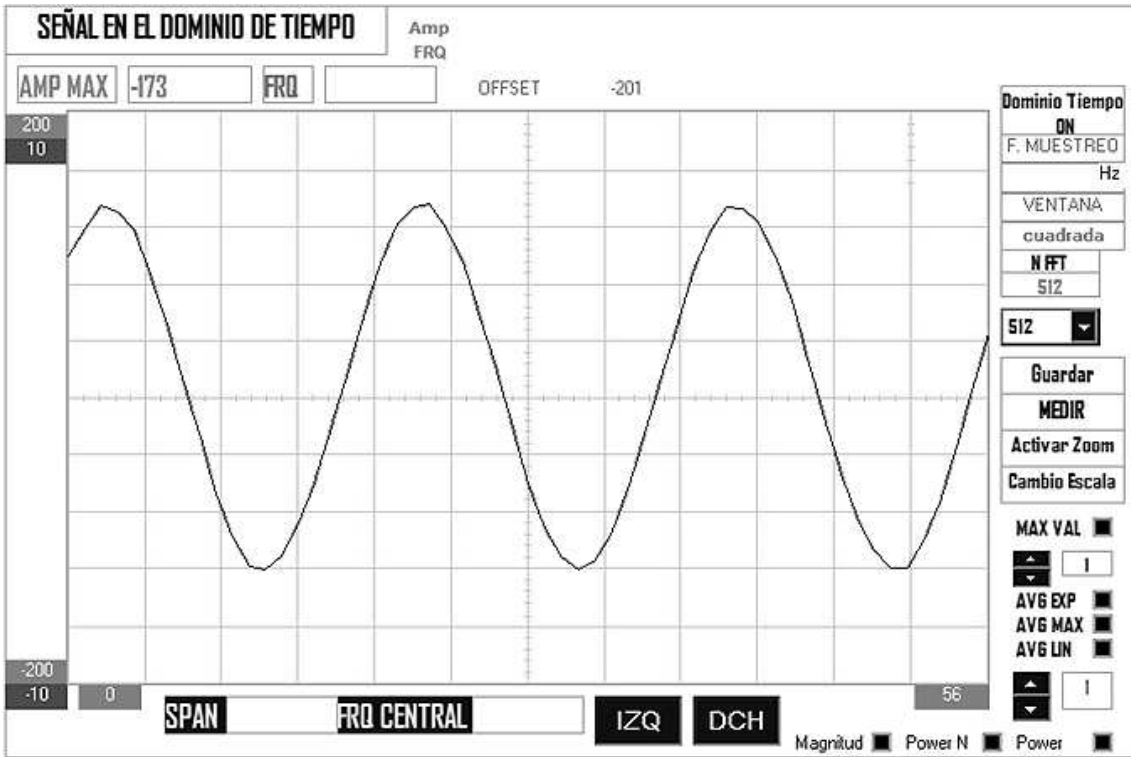
Señal de entrada 10kHz, nivel 15mVpp, Escala -220, 220, 0, 56, FS 192000



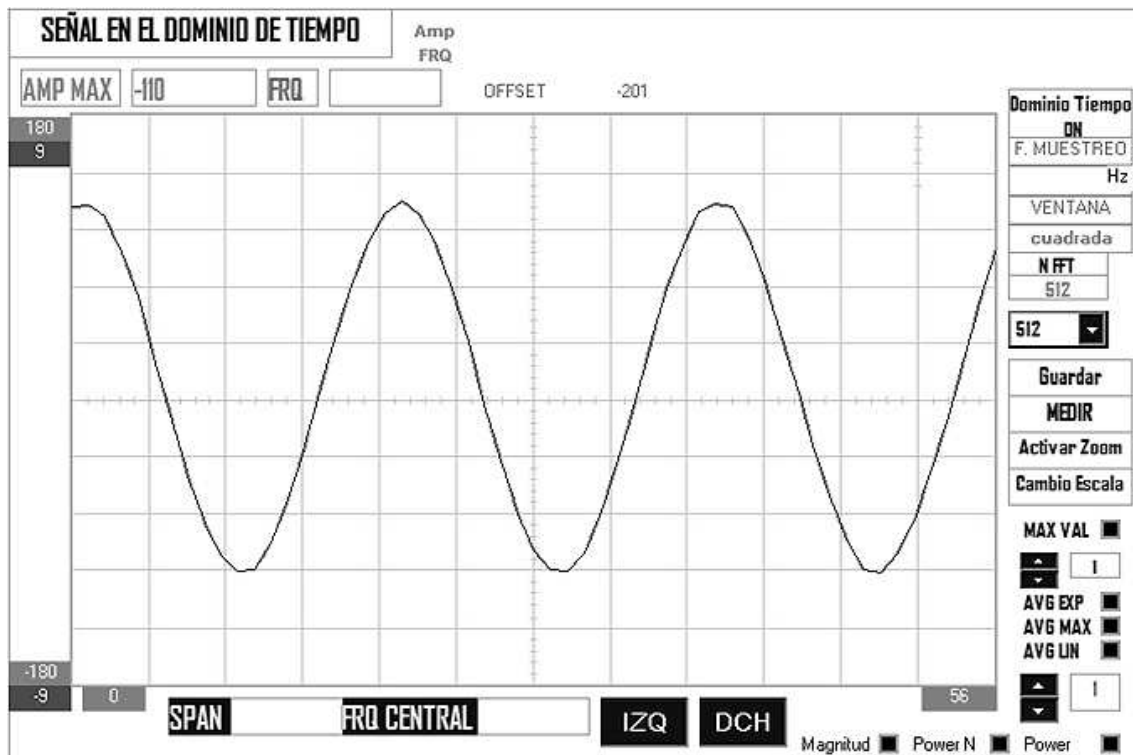
Señal de entrada 10kHz, nivel 14mVpp, Escala -200, 200, 0, 56, FS 192000



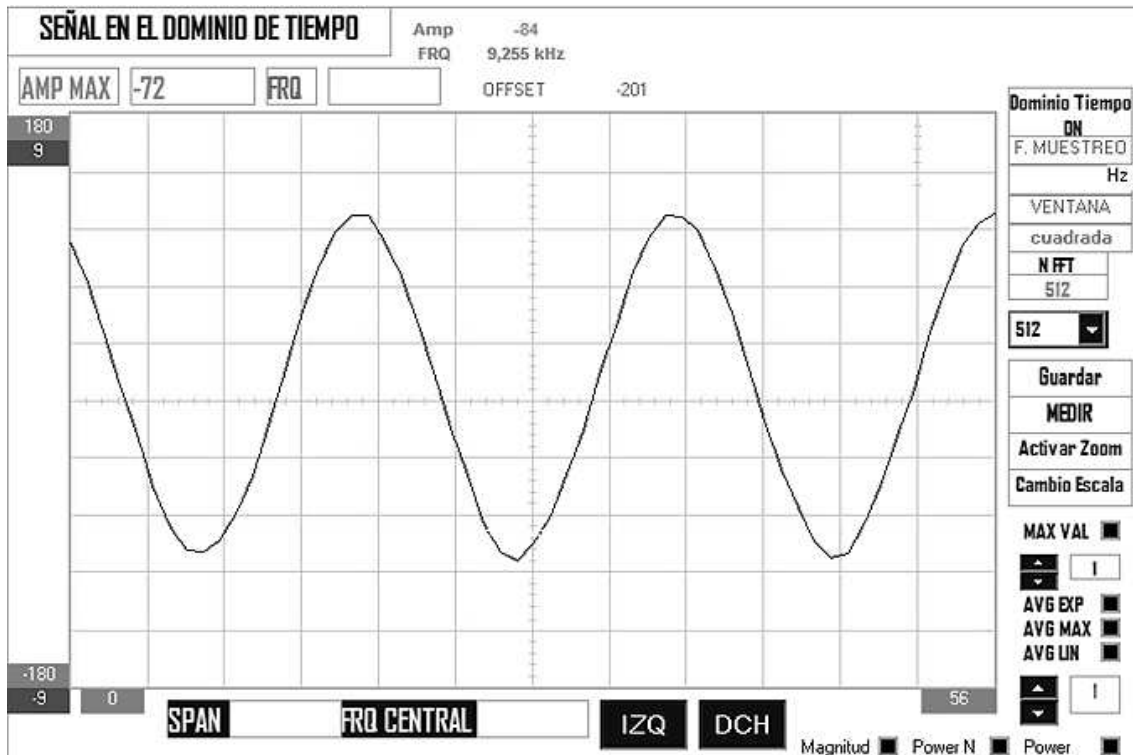
Señal de entrada 10kHz, nivel 13mVpp, Escala -200, 200, 0, 56, FS 192000



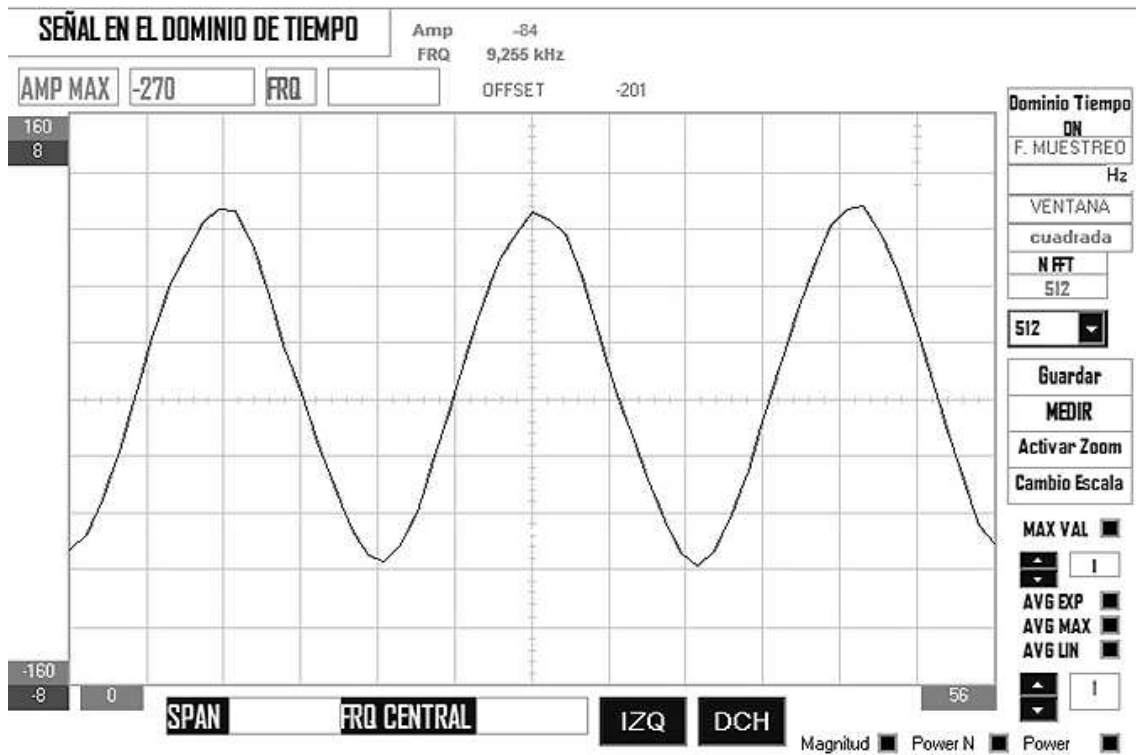
Señal de entrada 10kHz, nivel 12mVpp, Escala -180, 180, 0, 56, FS 192000



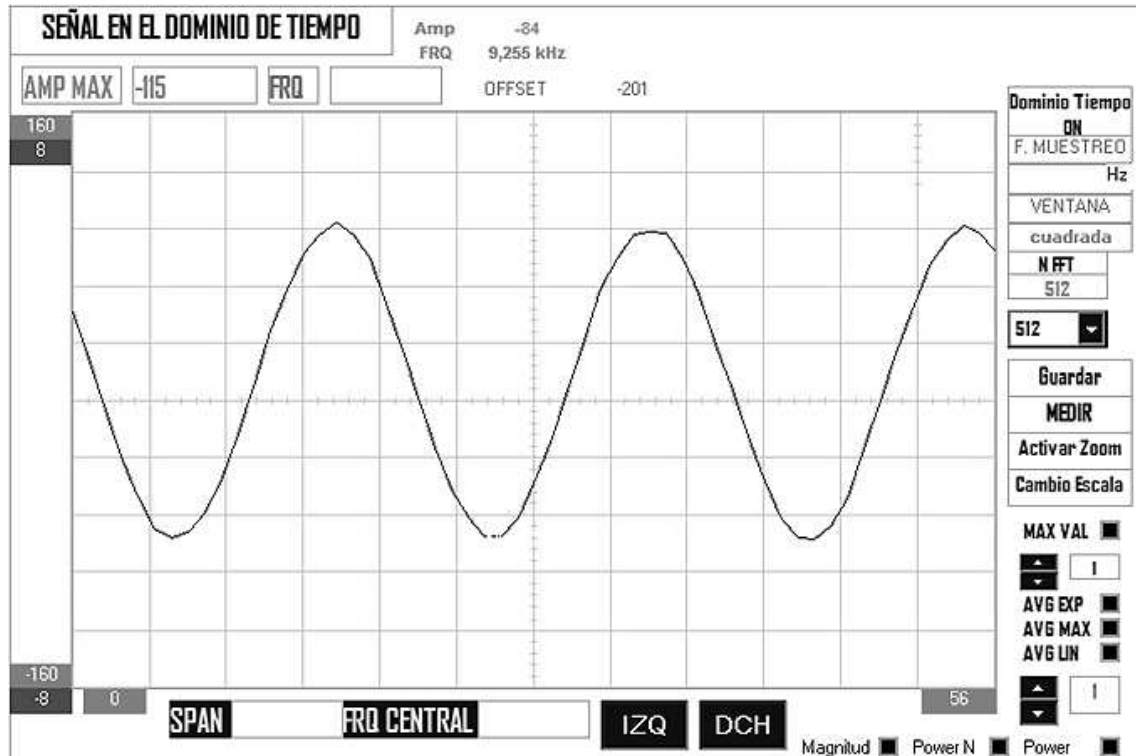
Señal de entrada 10kHz, nivel 11mVpp, Escala -180, 180, 0, 56, FS 192000



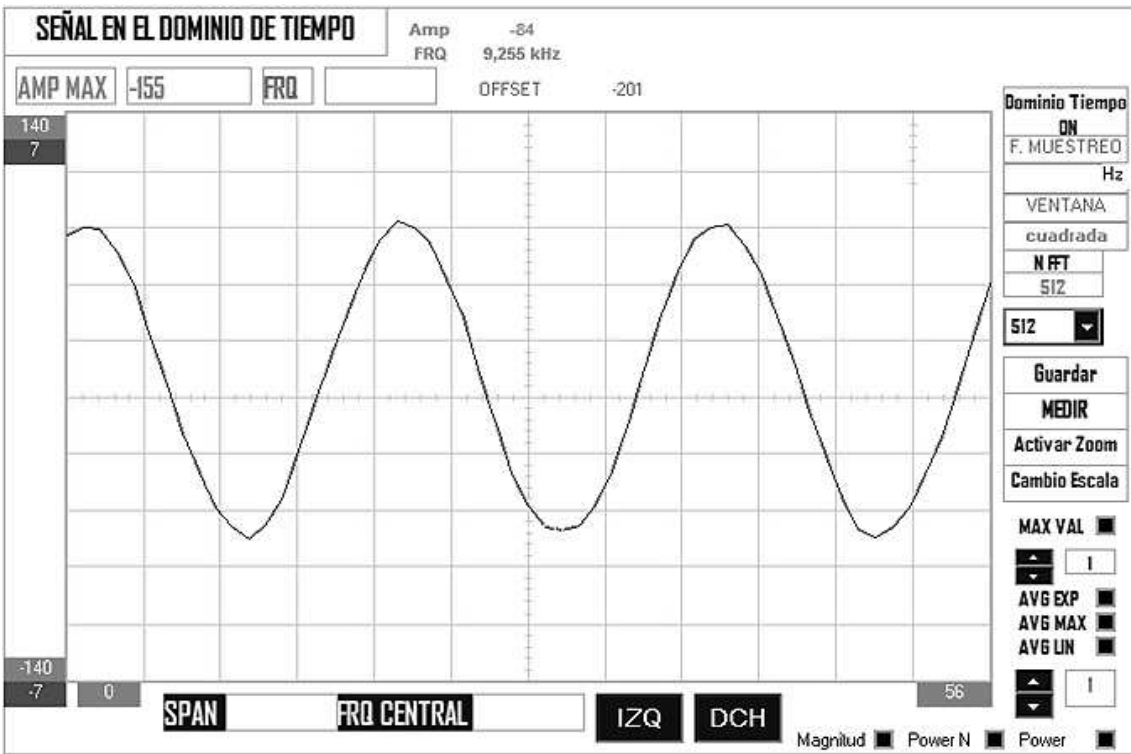
Señal de entrada 10kHz, nivel 10mVpp, Escala -160, 160, 0, 56, FS 192000



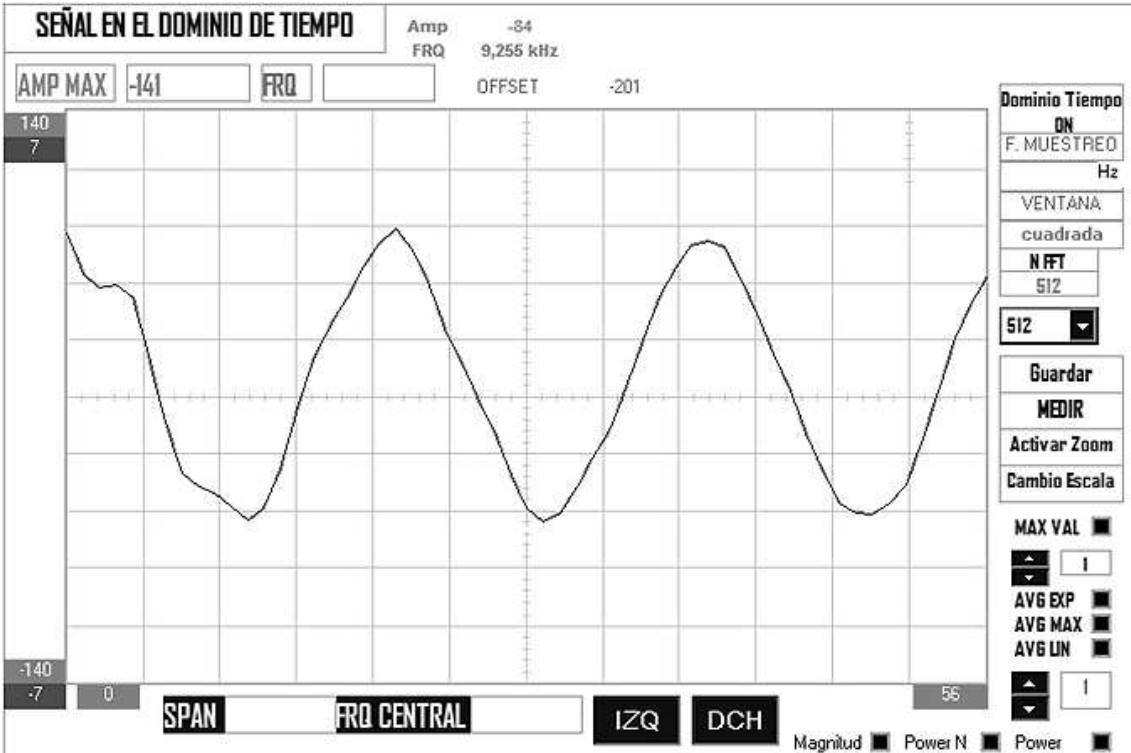
Señal de entrada 10kHz, nivel 9mVpp, Escala -160, 160, 0, 56, FS 192000



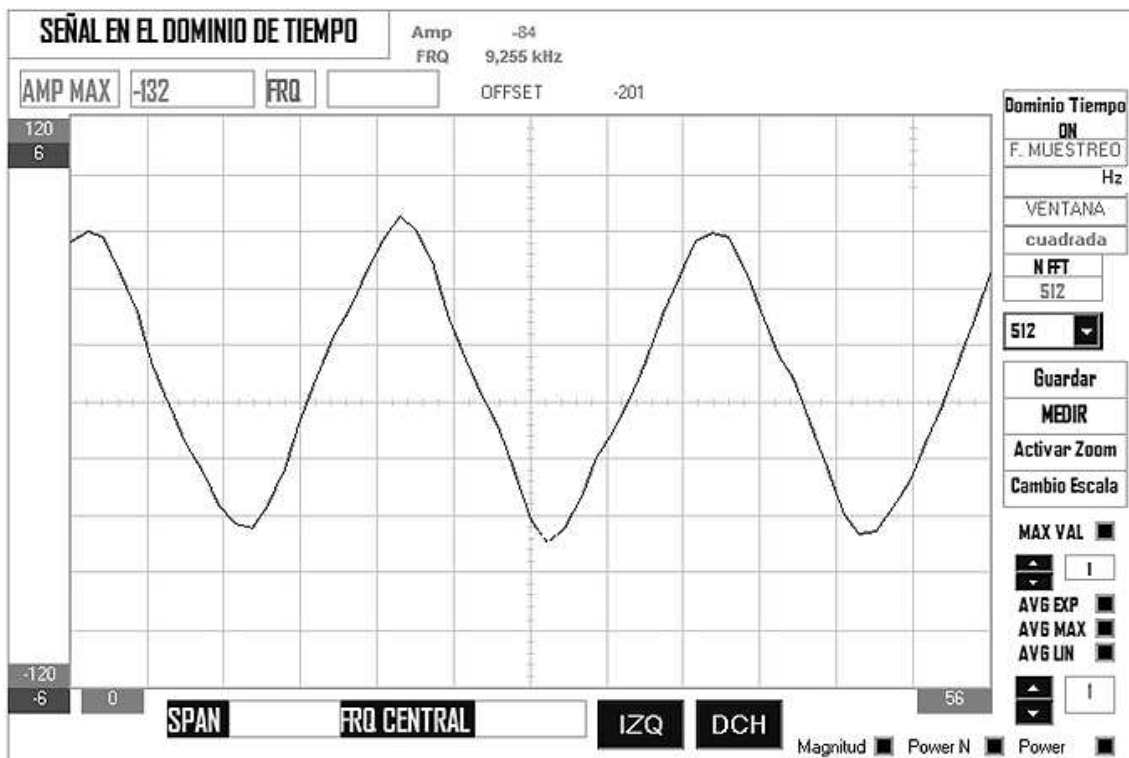
Señal de entrada 10kHz, nivel 8mVpp, Escala -140, 140, 0, 56, FS 192000



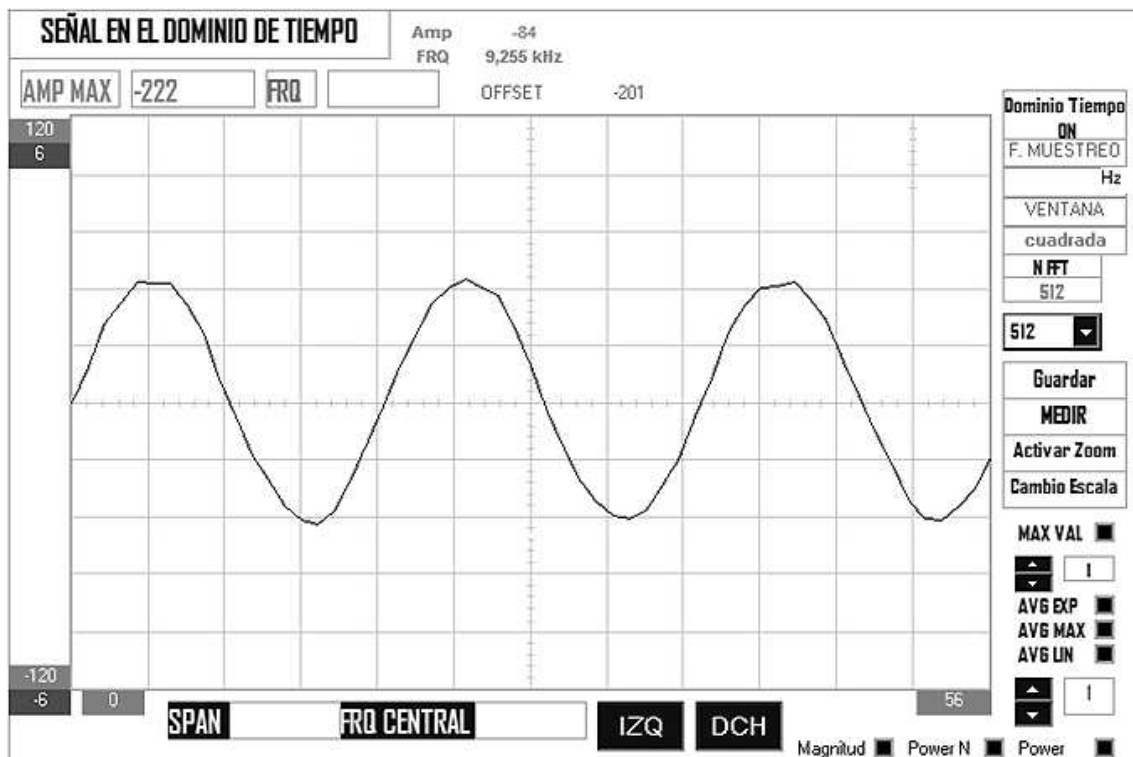
Señal de entrada 10kHz, nivel 7mVpp, Escala -140, 140, 0, 56, FS 192000



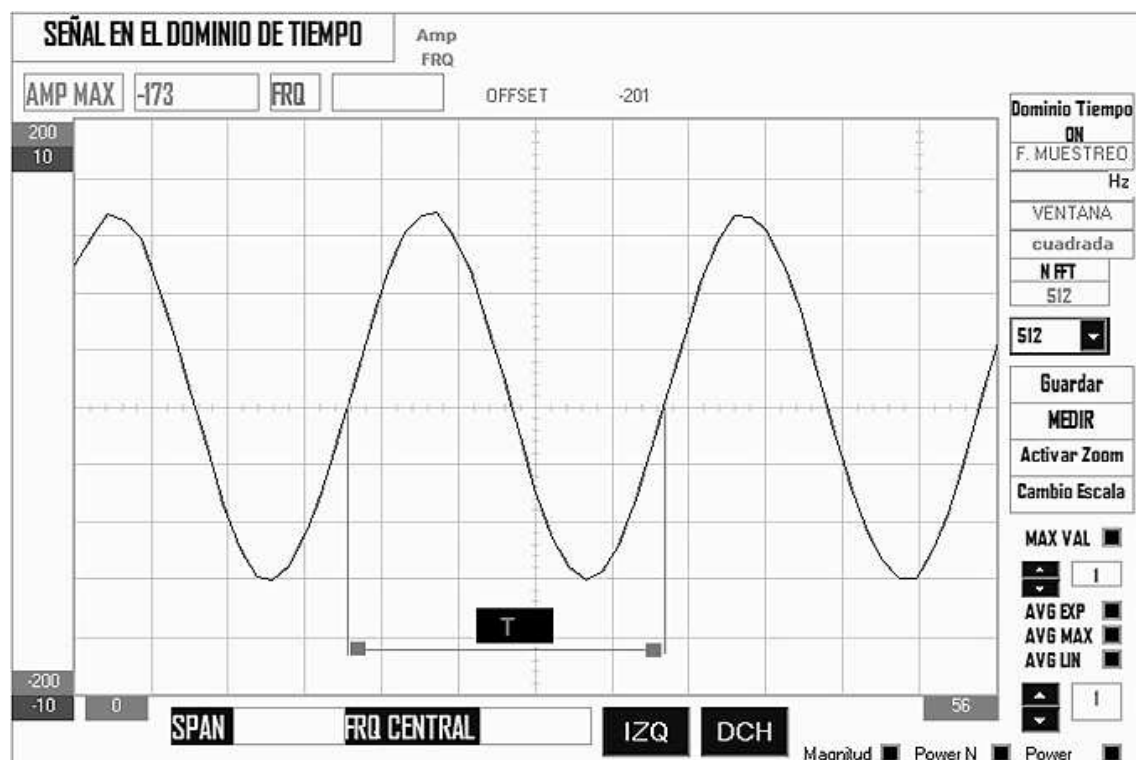
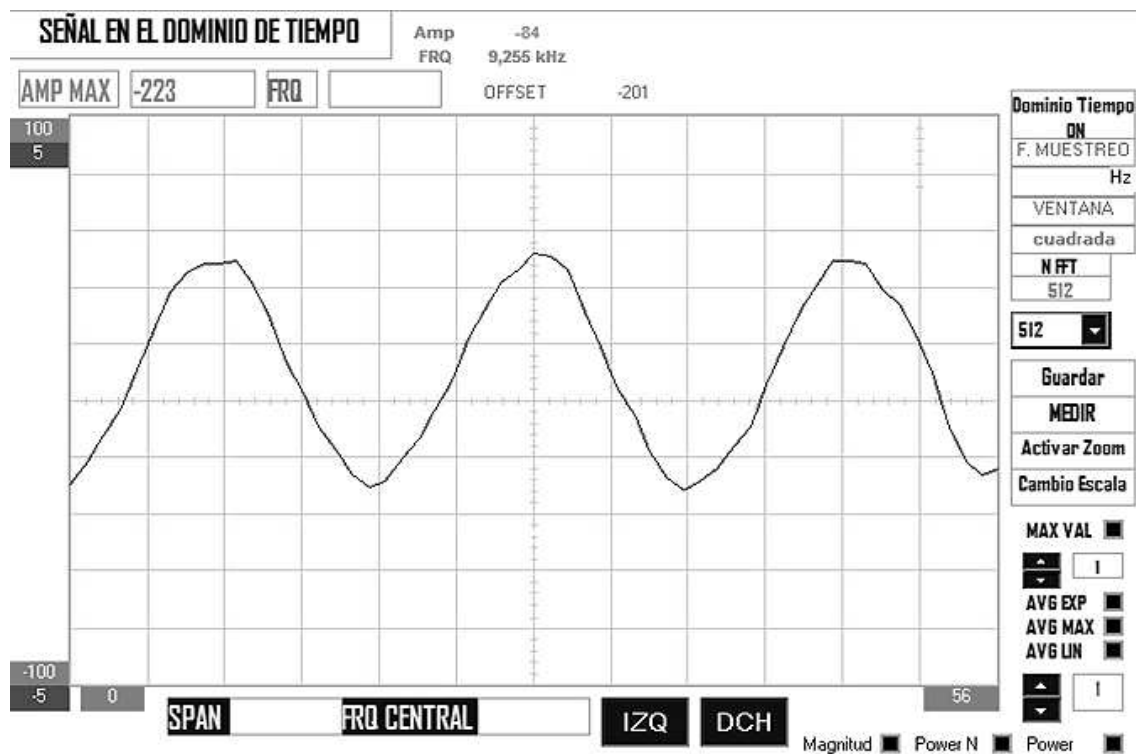
Señal de entrada 10kHz, nivel 6mVpp, Escala -120, 120, 0, 56, FS 192000



Señal de entrada 10kHz, nivel 5mVpp, Escala -120, 120, 0, 56, FS 192000



Señal de entrada 10kHz, nivel 4mVpp, Escala -100, 100, 0, 56, FS 192000



La gráfica representa 56 puntos

El periodo T de la señal tiene 4,1 puntos

12 cuadros → 56 puntos



4,14 cuadros → 19,13 puntos → T

Señal de entrada 10 kHz

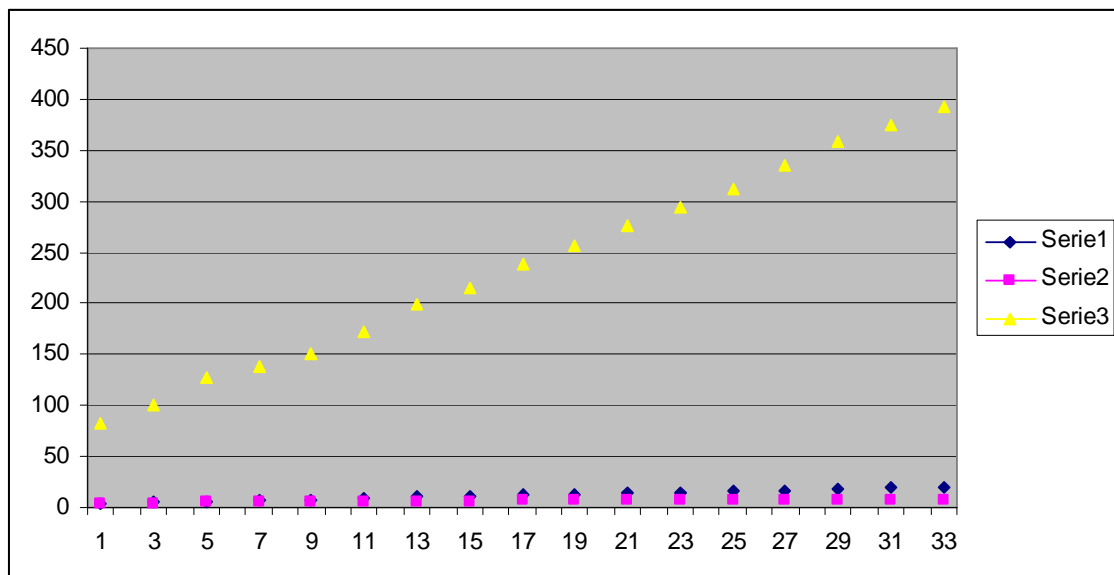
Fs = 192000 muestra/s

1 segundo → 192000 puntos

X segundos → 19,13 puntos

X = 0,000099635417 = aprox 0,0001s → 10 kHz

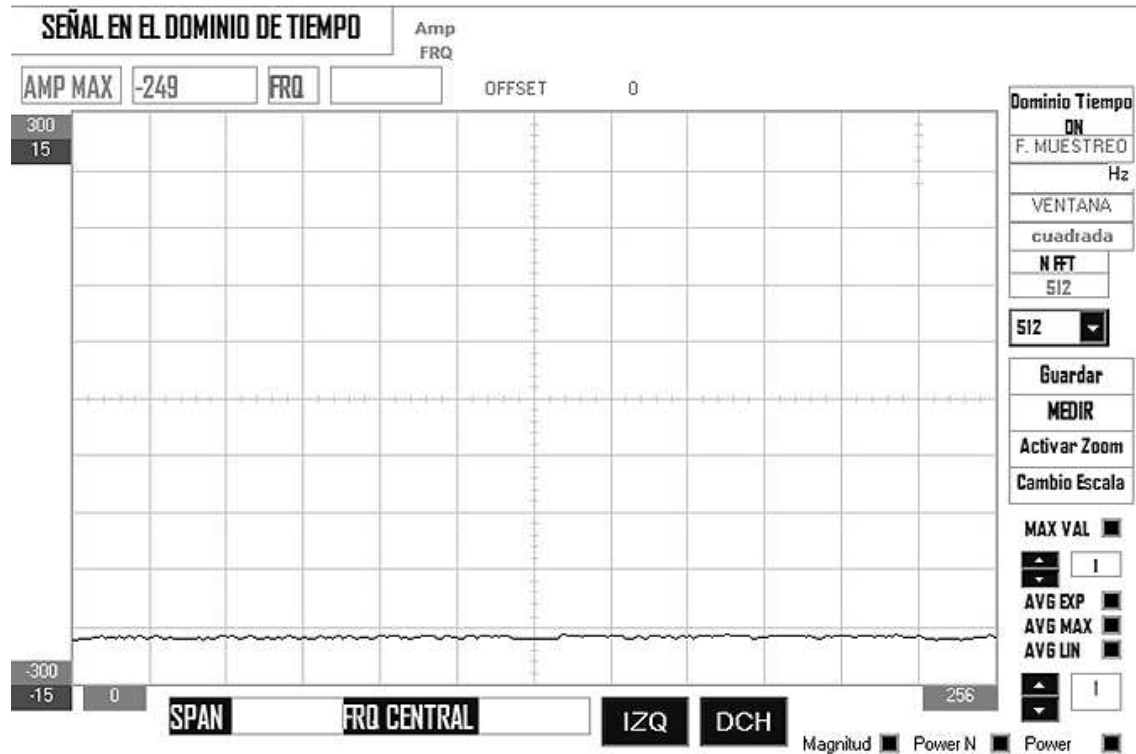
3	F	mVpp	cuadros	Valor Buffer Calculado	Xmin	Xmax	Ymin	Ymax	N_FFT	Fs	Offset Tarjeta
4	10kHz	4	4,1	82	-100	100	0	256	512	192000	-150
5	10kHz										
6	10kHz	5	4,2	100,8	-120	120	0	256	512	192000	-150
7	10kHz										
8	10kHz	6	5,3	127,2	-120	120	0	256	512	192000	-150
9	10kHz										
10	10kHz	7	4,9	137,2	-140	140	0	256	512	192000	-150
11	10kHz										
12	10kHz	8	5,4	151,2	-140	140	0	256	512	192000	-150
13	10kHz										
14	10kHz	9	5,4	172,8	-160	160	0	256	512	192000	-150
15	10kHz										
16	10kHz	10	6,2	198,4	-160	160	0	256	512	192000	-150
17	10kHz										
18	10kHz	11	6	216	-180	180	0	256	512	192000	-150
19	10kHz										
20	10kHz	12	6,6	237,6	-180	180	0	256	512	192000	-150
21	10kHz										
22	10kHz	13	6,4	256	-200	200	0	256	512	192000	-150
23	10kHz										
24	10kHz	14	6,9	276	-200	200	0	256	512	192000	-150
25	10kHz										
26	10kHz	15	6,7	294,8	-220	220	0	256	512	192000	-150
27	10kHz										
28	10kHz	16	6,5	312	-240	240	0	256	512	192000	-150
29	10kHz										
30	10kHz	17	7	336	-240	240	0	256	512	192000	-150



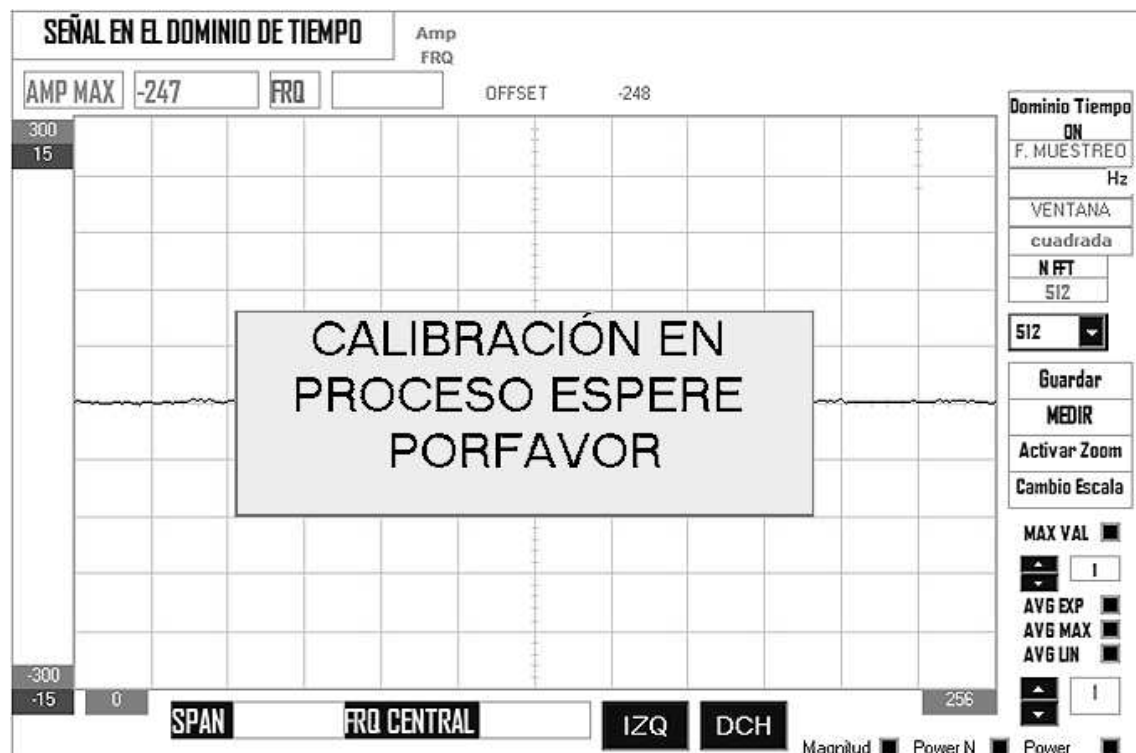
## MEDICIONES: Señal de entrada 20kHz

### Mediciones realizadas 07 de mayo de 2015

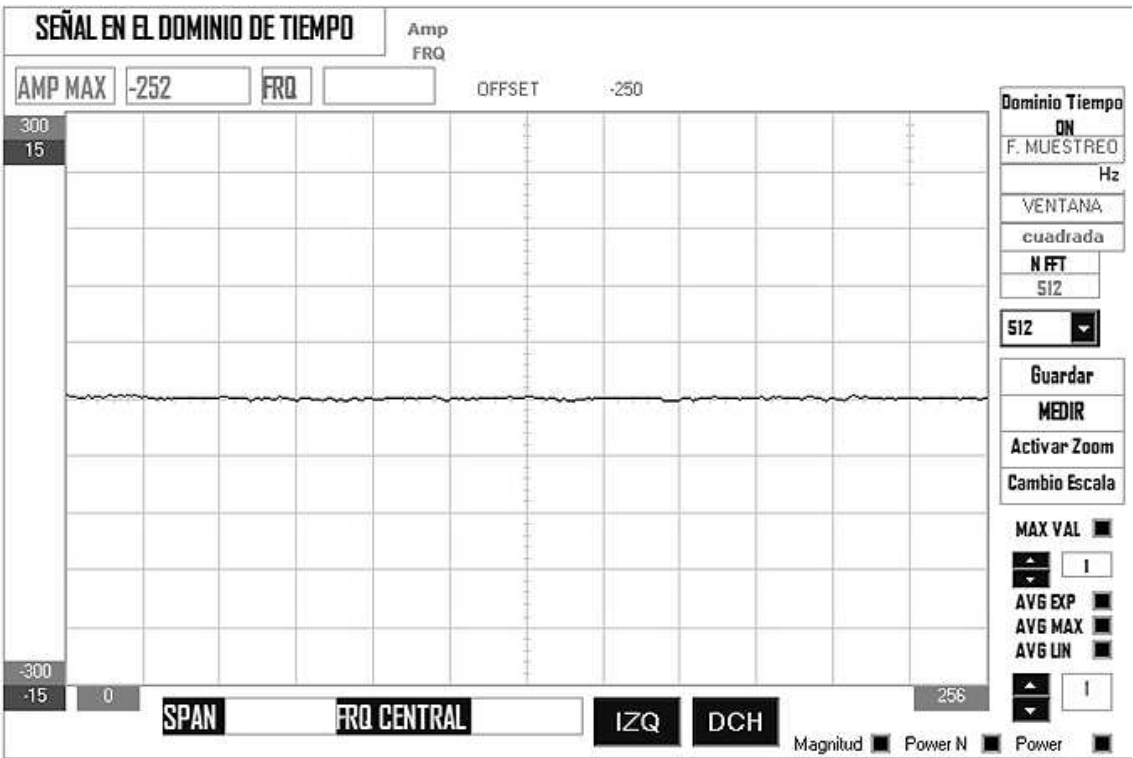
Señal sin ninguna entrada.



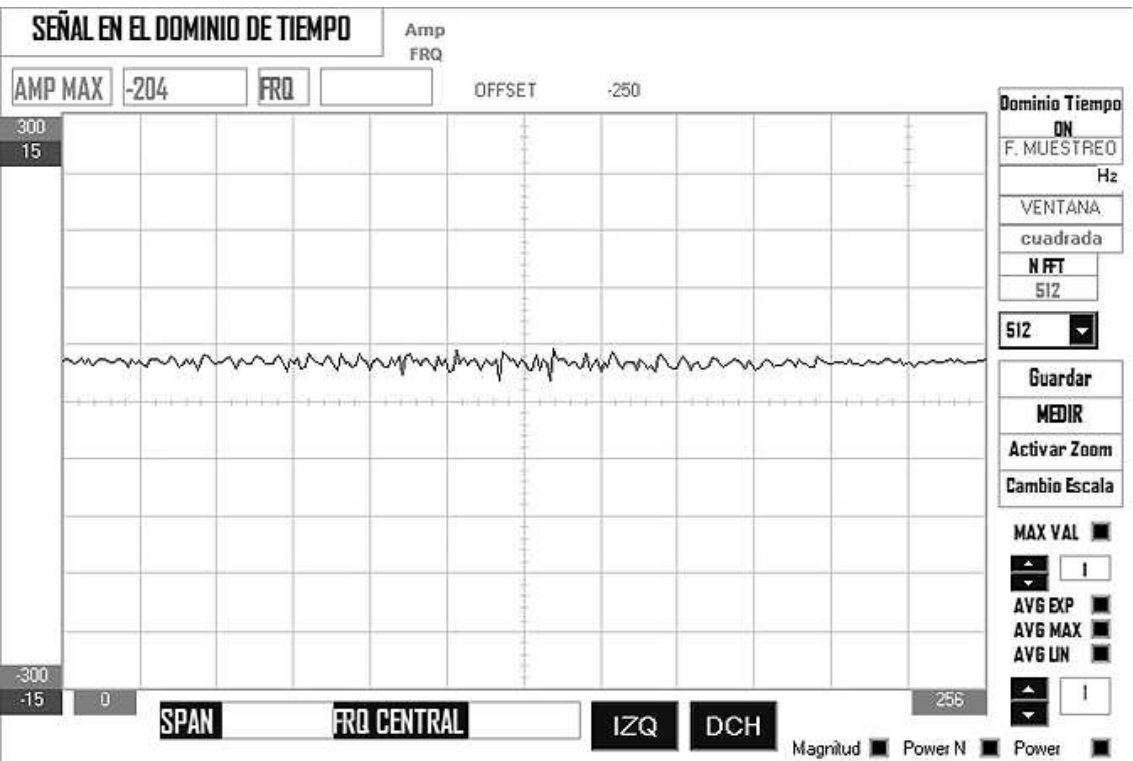
Se realiza el proceso de calibración del nivel del ofset.



El ofset de corrección calculado después del proceso de calibración es de 250 puntos.

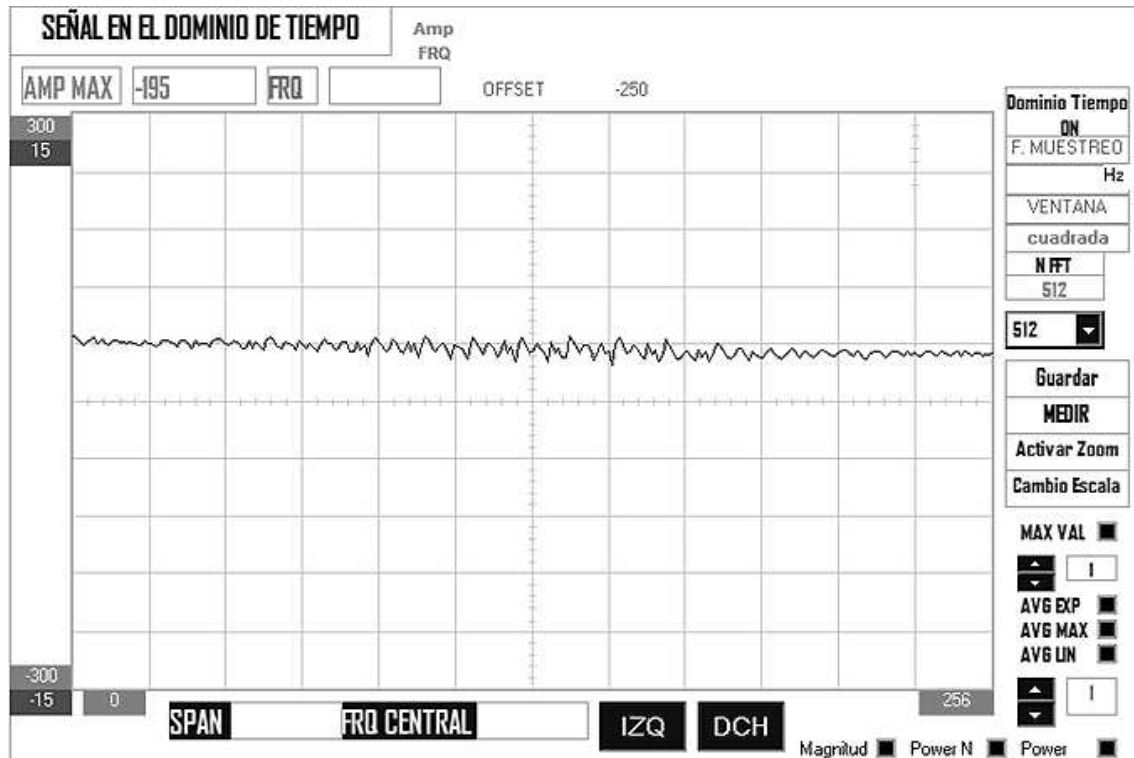


Se conecta la entrada del aparato "generador de señal PCE-SDG1010, sin ninguna señal aplicada en su salida.



Como se puede apreciar en la imagen que el aparato presenta un pequeño offset positivo, además de un poco de ruido, y oscilación de la señal.

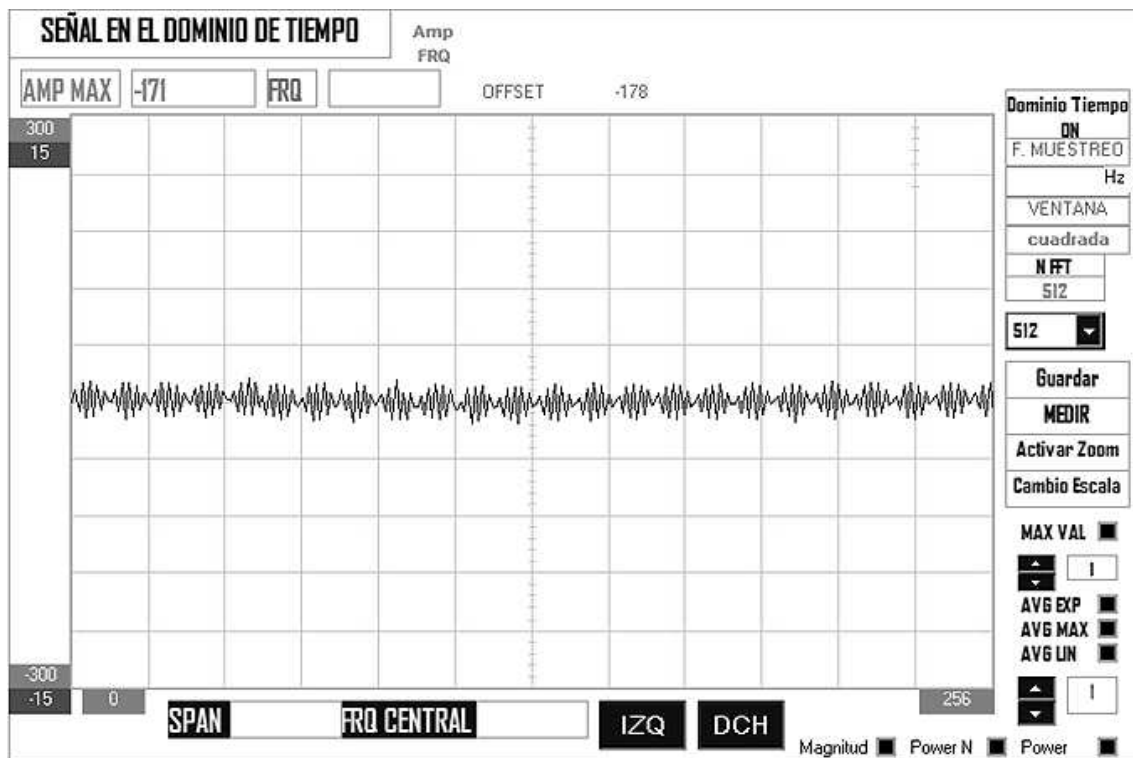
Se apaga el generador de señales y sigue apareciendo el ruido, y el offset



Este ruido no es un ruido del generador sino que es un ruido al conectar el conector audio en la entrada del micrófono de la tarjeta de sonido. Puede ser ruido radiado, al actuar el cable como antena receptora en la entrada de la tarjeta de sonido.

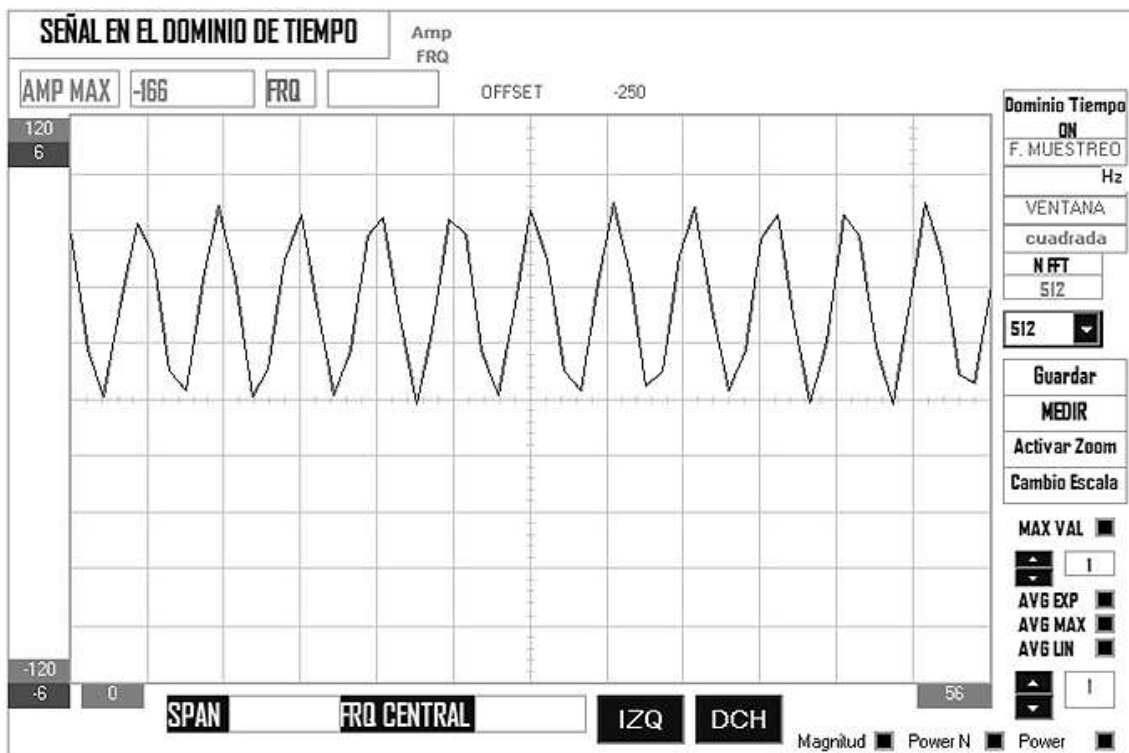
En estas mediciones queremos medir una señal de entrada de 20 kHz.

Al activar la salida del generador de señales con señal de 20kHz y amplitud de 4mVpp, Fs a 44000, se obtiene la señal siguiente:

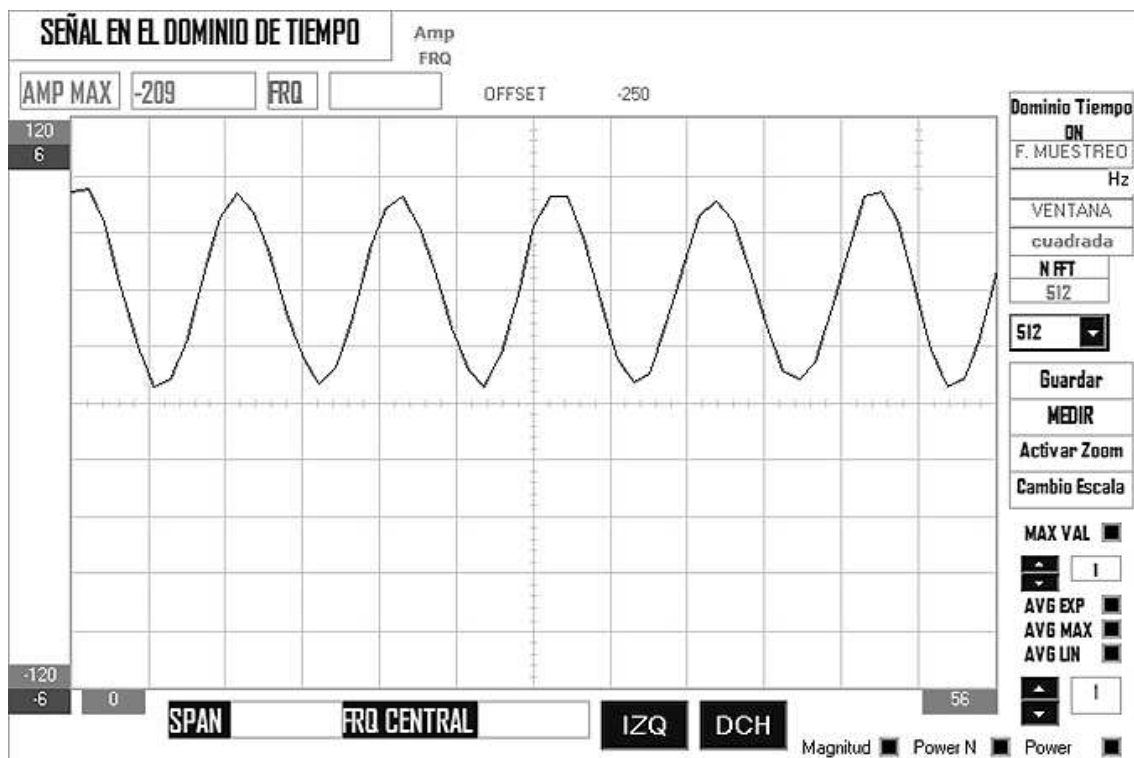


Se cambia la frecuencia de muestreo a 96000, se obtiene la señal siguiente:

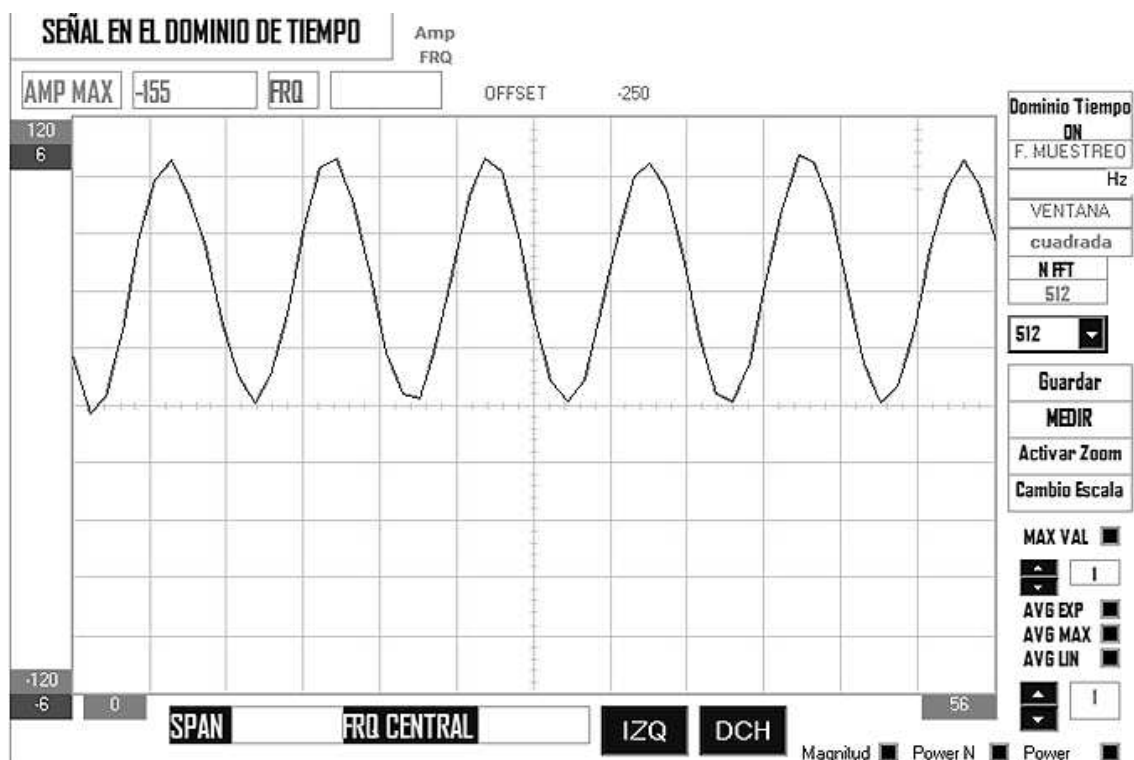
Escala -120, 120 – 0, 56 , amplitud 4mVpp



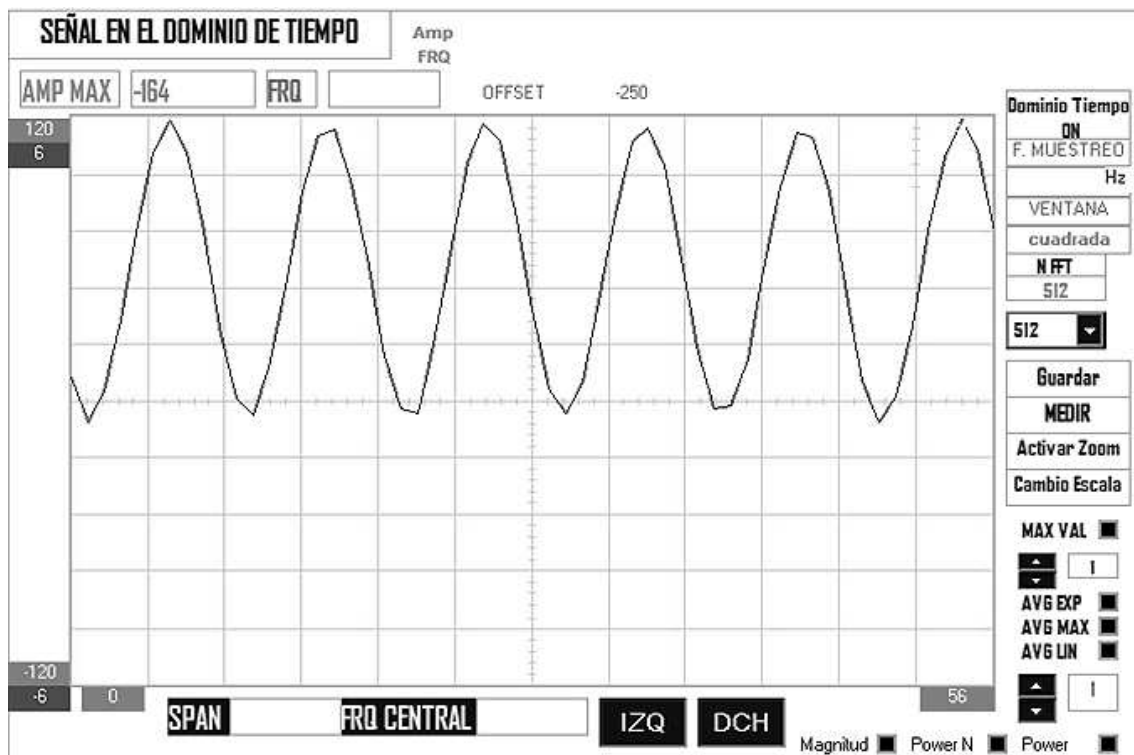
Aumentando la Fs a 192000 se obtiene el resultado siguiente:



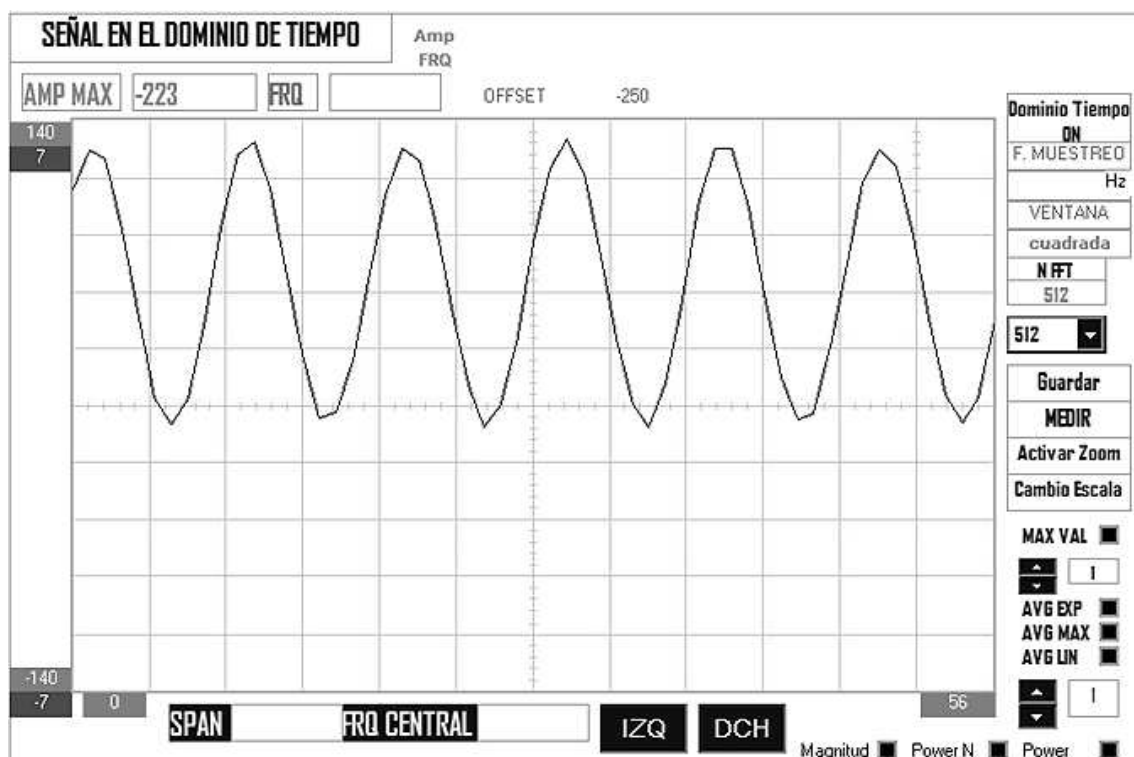
Señal de entrada 20kHz, 5mVpp, Fs 192000, Escala -120, 120, 0, 56



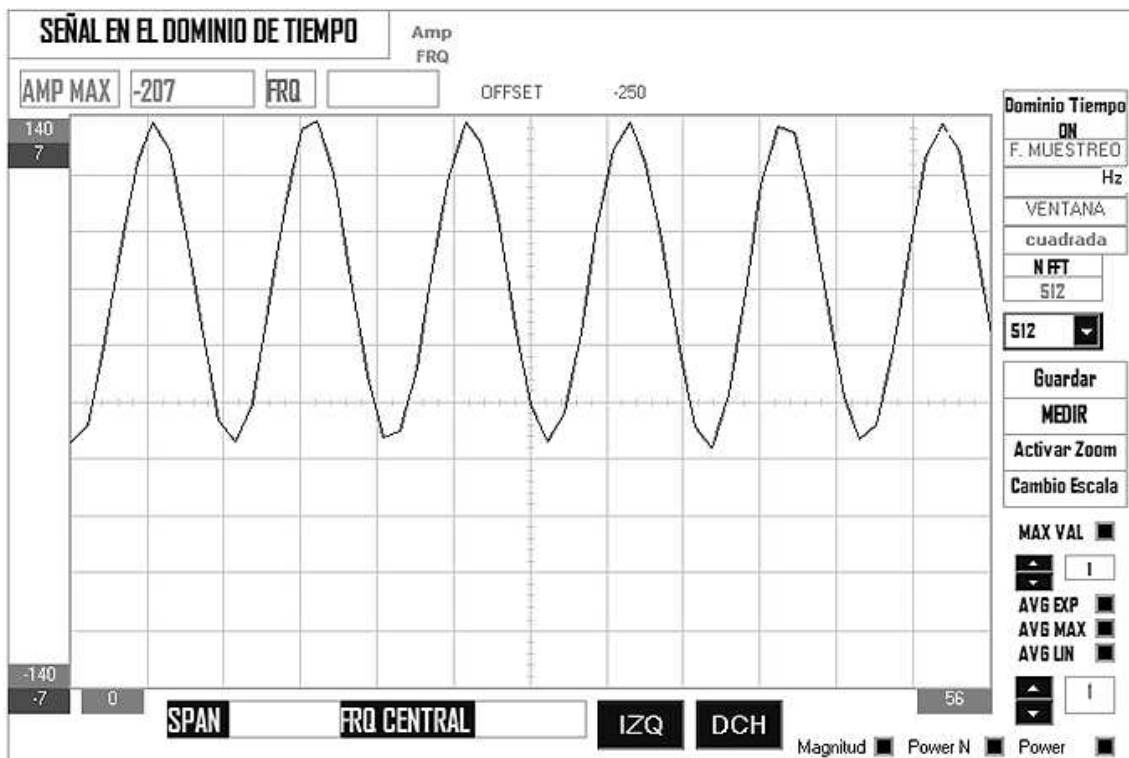
Señal de entrada 20kHz, 6mVpp, Fs 192000, Escala -120, 120, 0, 56



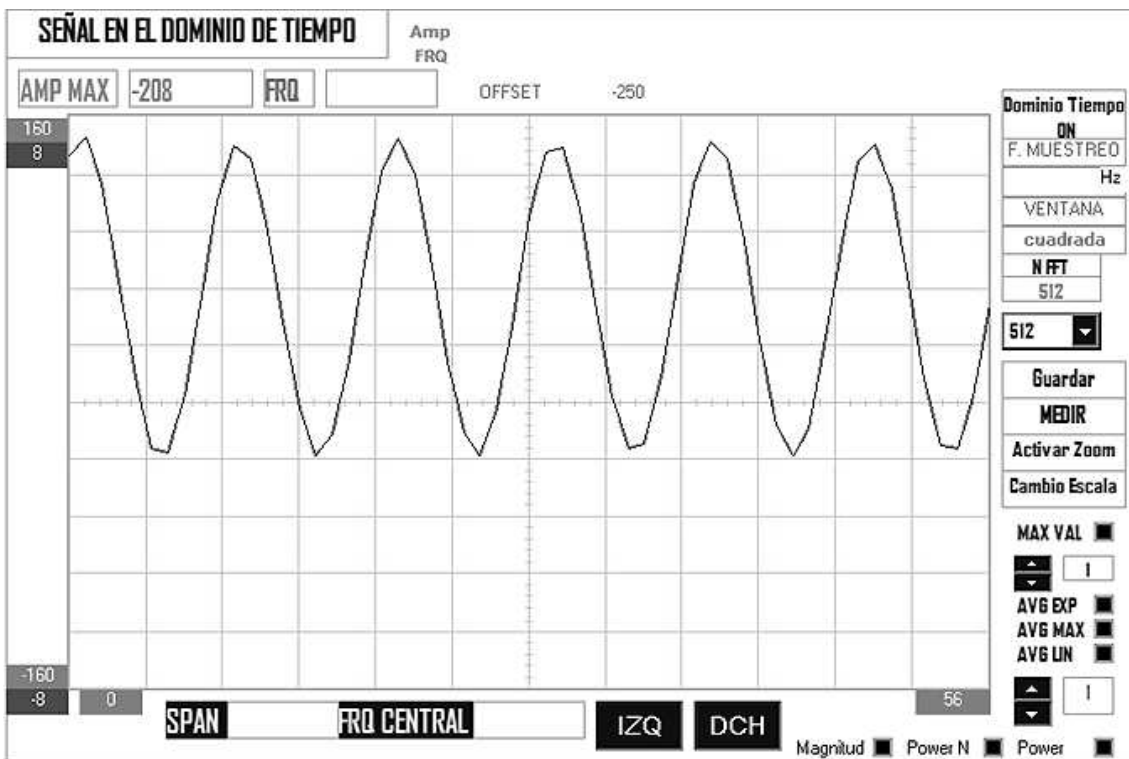
Señal de entrada 20kHz, 7mVpp, Fs 192000, Escala -140, 140, 0, 56



Señal de entrada 20kHz, 8mVpp, Fs 192000, Escala -140, 140, 0, 56

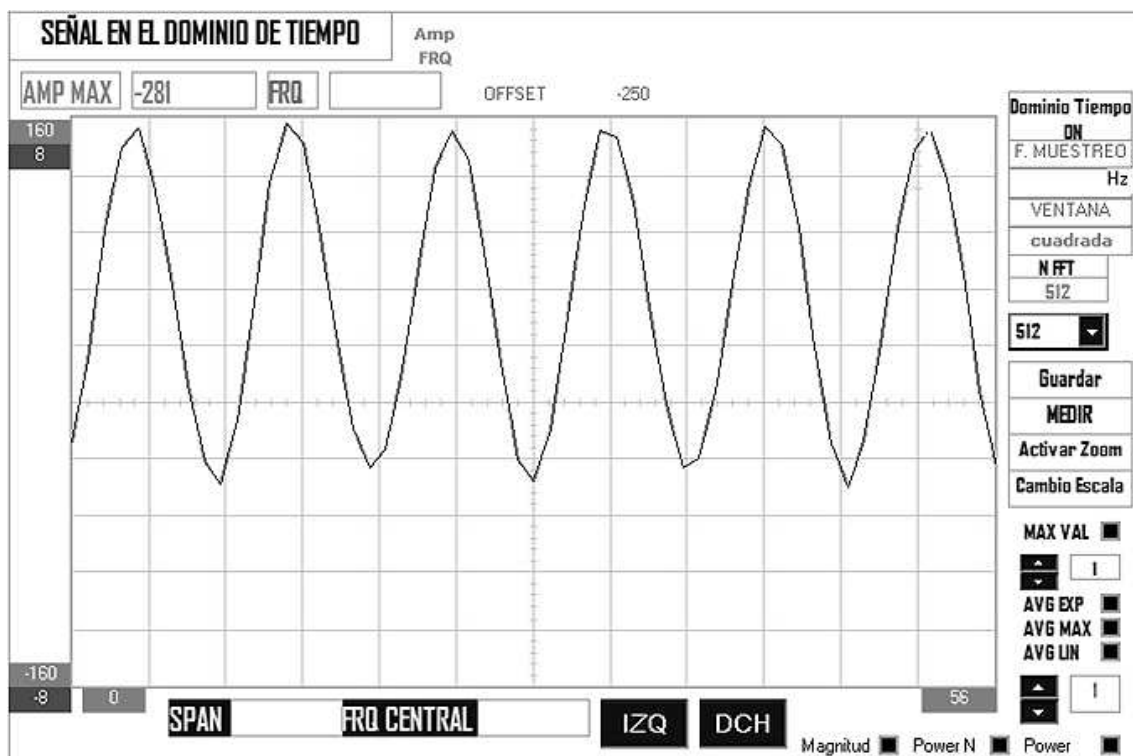


Señal de entrada 20kHz, 9mVpp, Fs 192000, Escala -160, 160, 0, 56

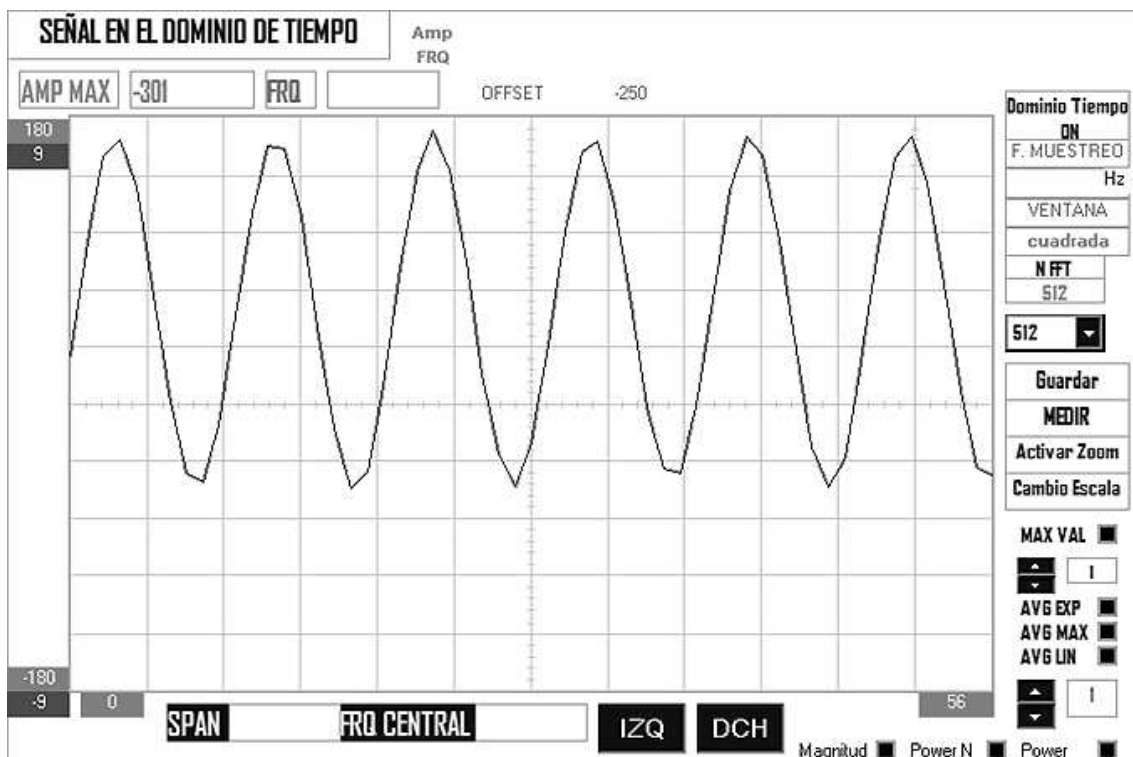




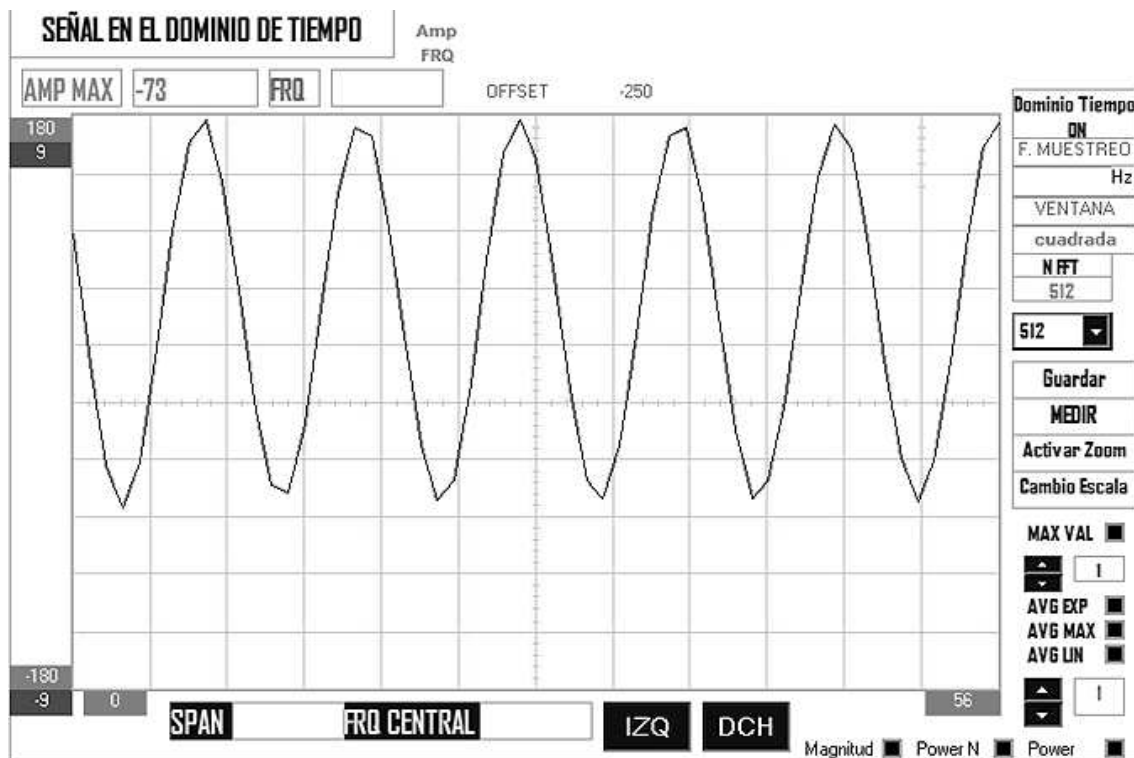
Señal de entrada 20kHz, 10mVpp, Fs 192000, Escala -160, 160, 0, 56



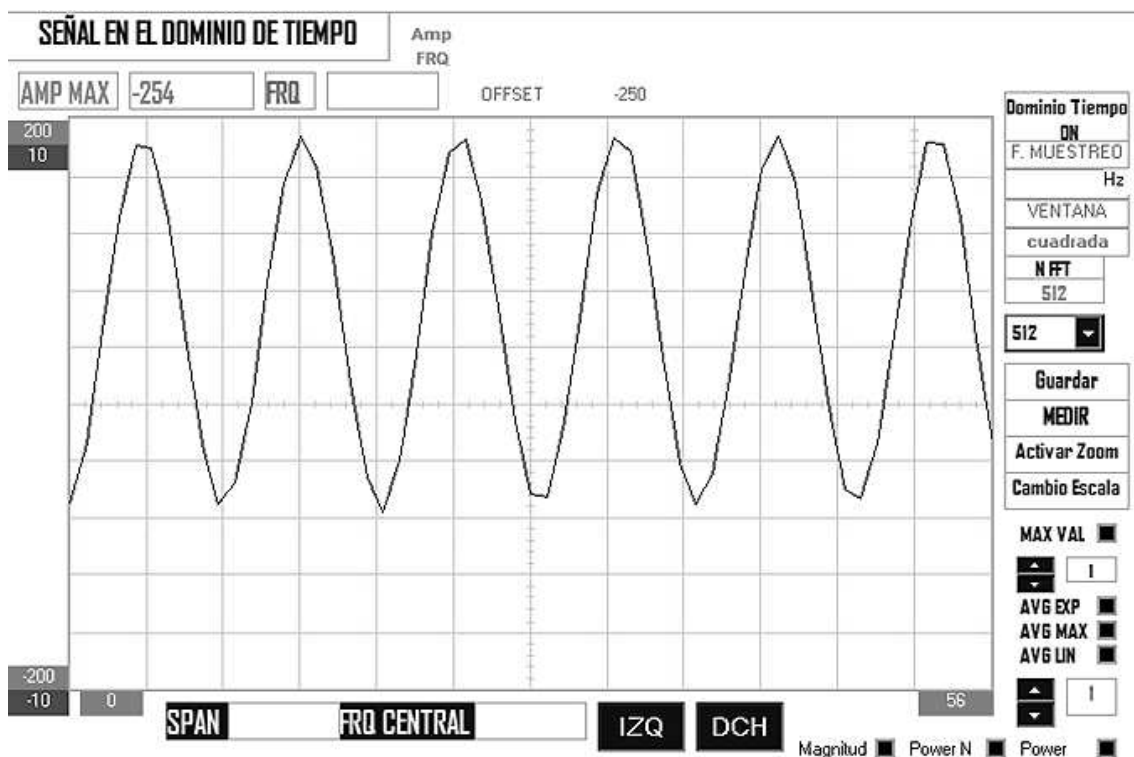
Señal de entrada 20kHz, 11mVpp, Fs 192000, Escala -180, 180, 0, 56



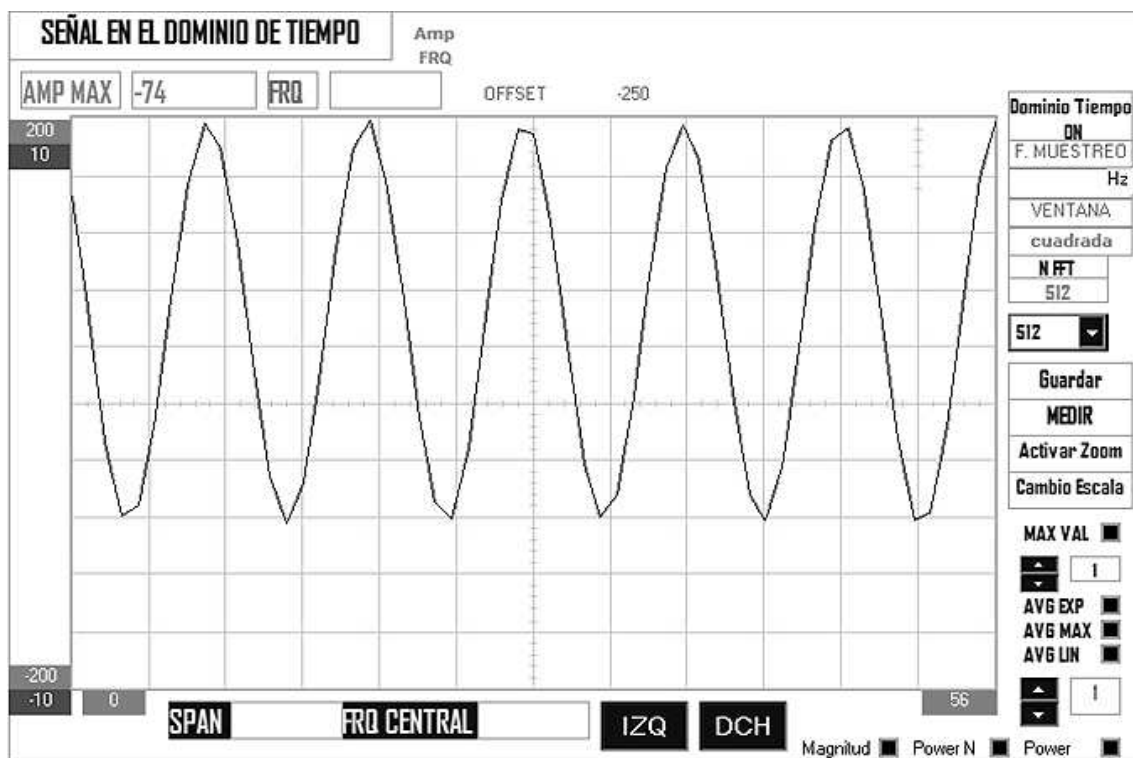
Señal de entrada 20kHz, 12mVpp, Fs 192000, Escala -180, 180, 0, 56



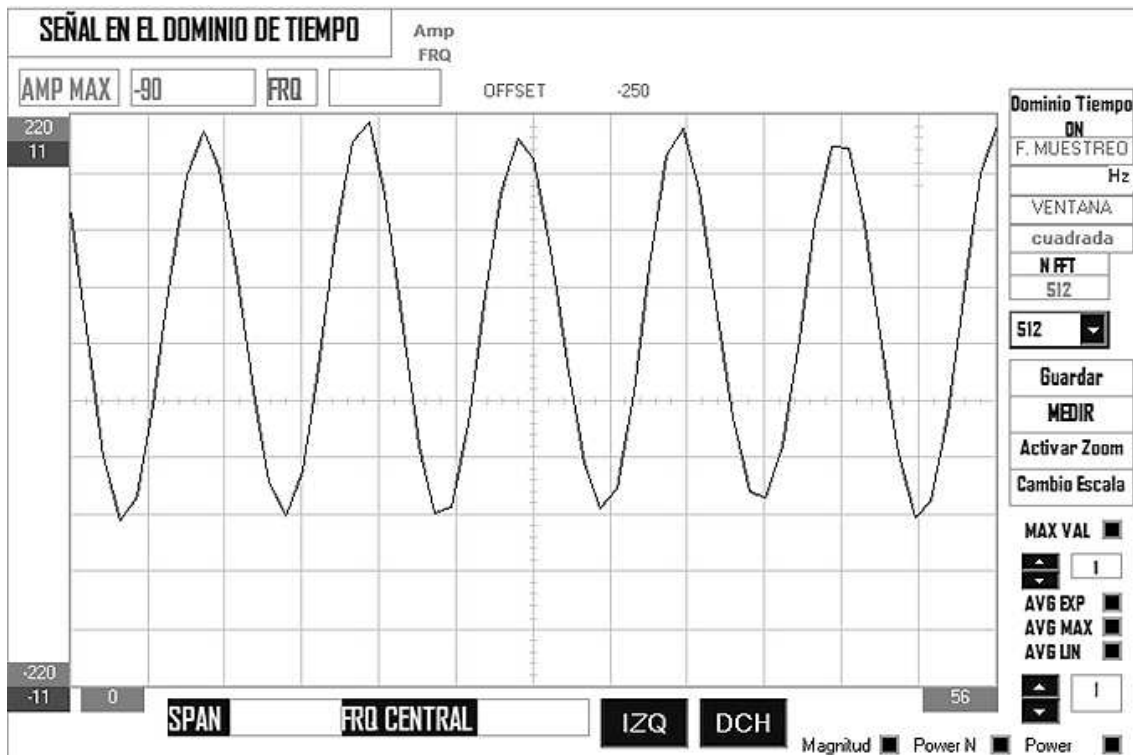
Señal de entrada 20kHz, 13mVpp, Fs 192000, Escala -200, 200, 0, 56



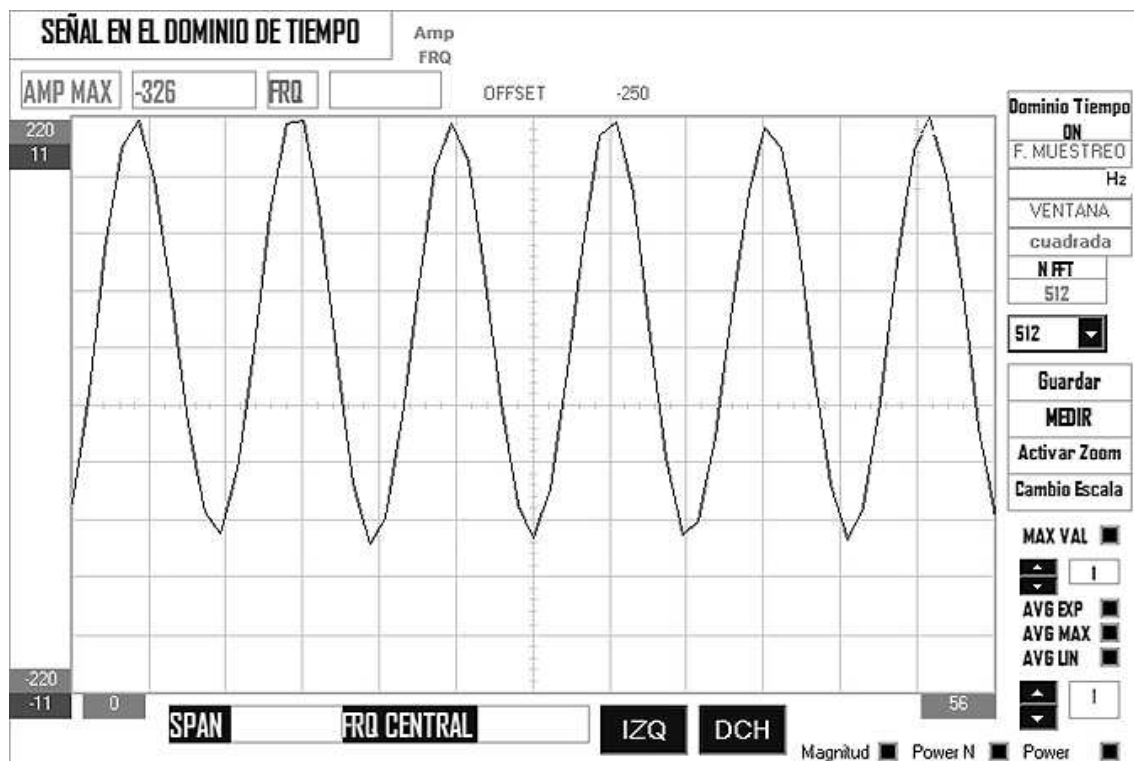
Señal de entrada 20kHz, 14mVpp, Fs 192000, Escala -200, 200, 0, 56



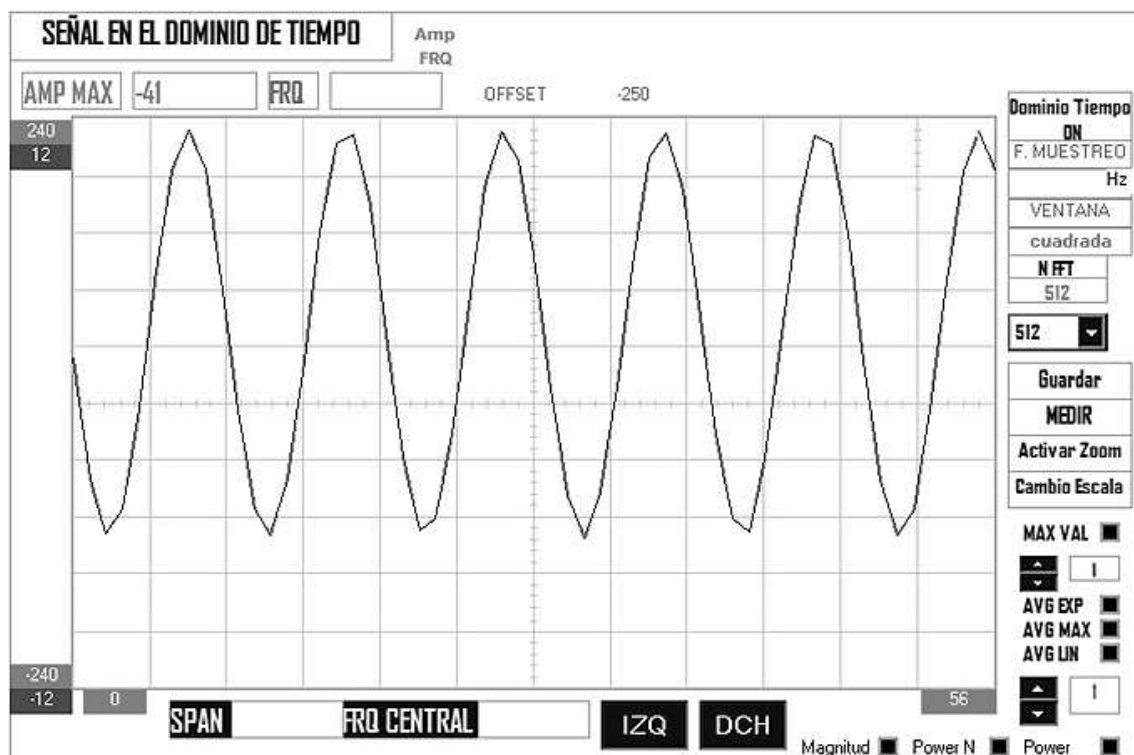
Señal de entrada 20kHz, 15mVpp, Fs 192000, Escala -220, 220, 0, 56



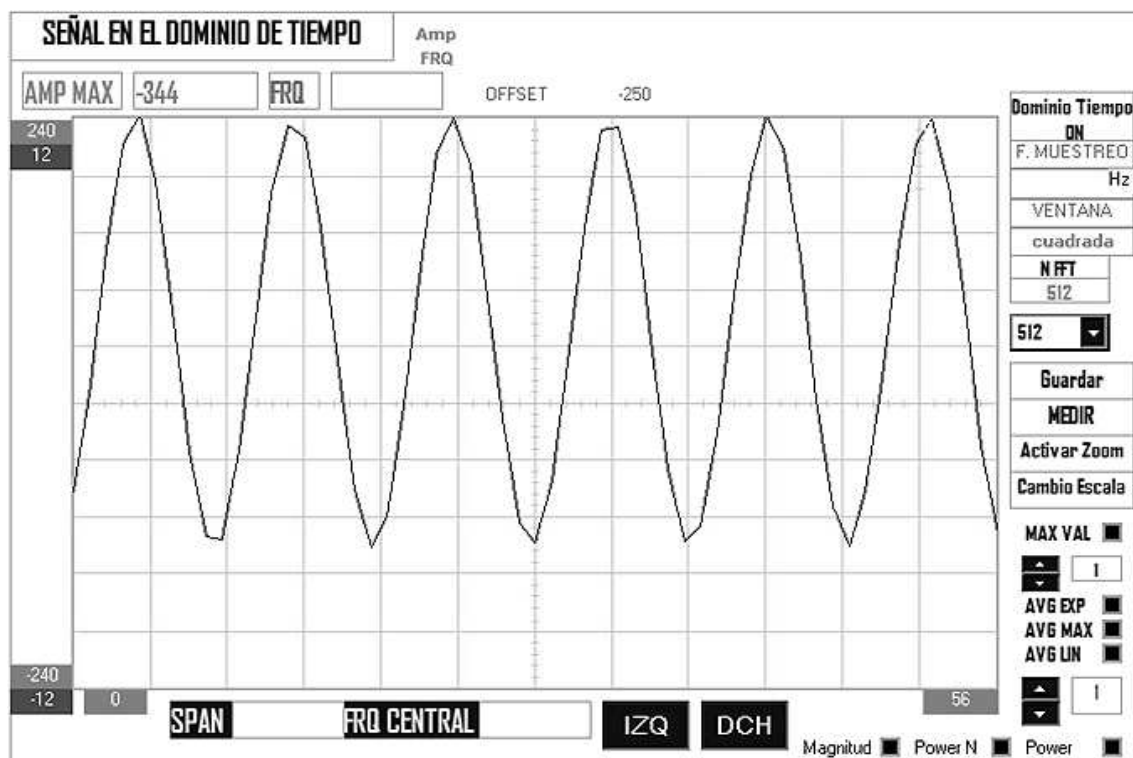
Señal de entrada 20kHz, 16mVpp, Fs 192000, Escala -220, 220, 0, 56



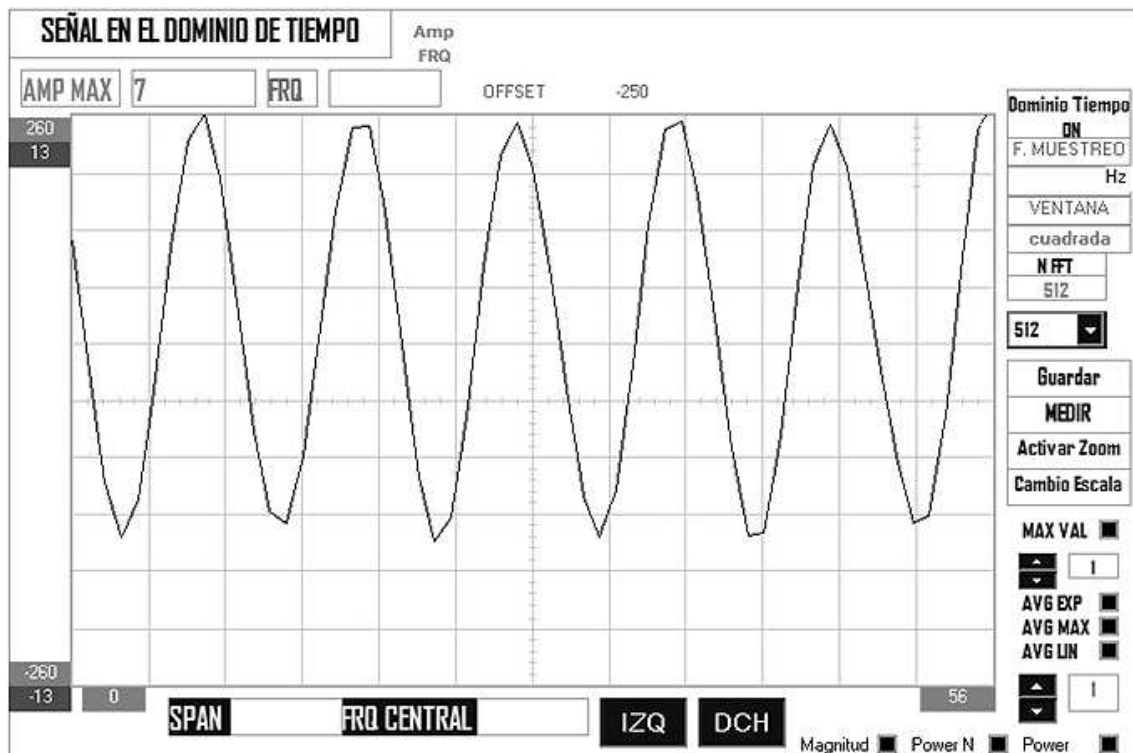
Señal de entrada 20kHz, 17mVpp, Fs 192000, Escala -240, 240, 0, 56



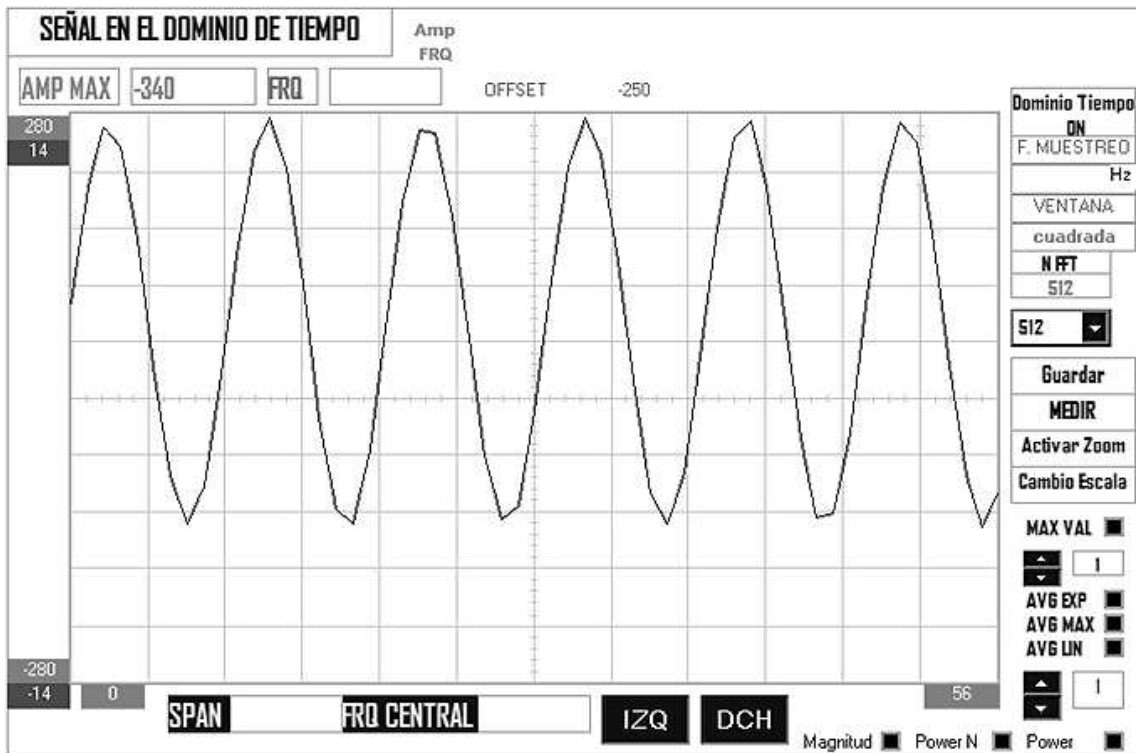
Señal de entrada 20kHz, 18mVpp, Fs 192000, Escala -240, 240, 0, 56



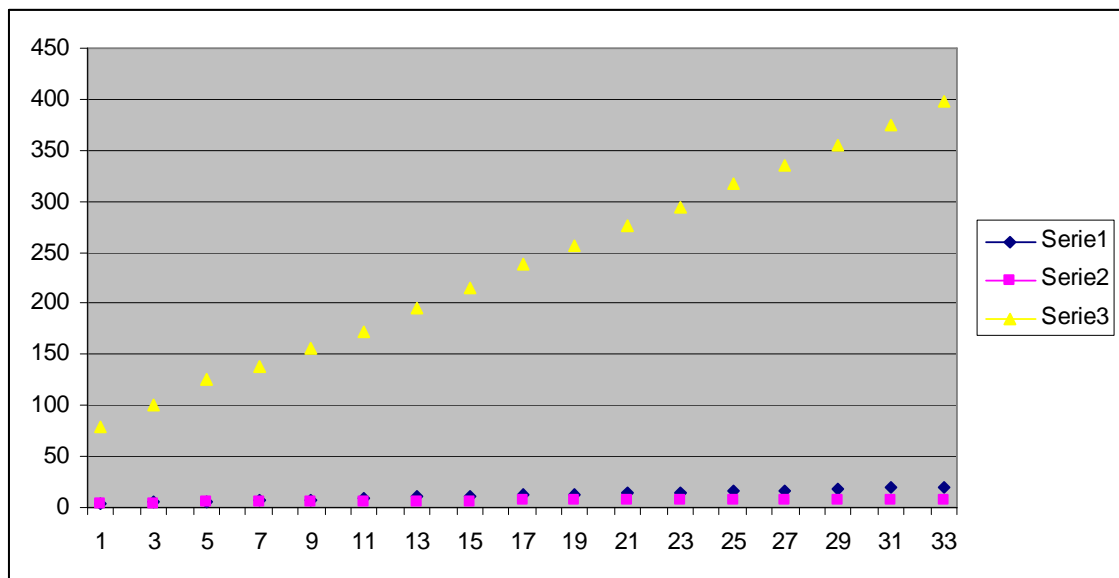
Señal de entrada 20kHz, 19mVpp, Fs 192000, Escala -260, 260, 0, 56



Señal de entrada 20kHz, 20mVpp, Fs 192000, Escala -280, 280, 0, 56



3	F	mVpp	cuadros	Valor Buffer Calculado	Xmin	Xmax	Ymin	Ymax	N_FFT	Fs	Offset Tarjeta
4	20kHz										
5	20kHz			3,2	76,8	-120	120	0	256	512	-250
6	20kHz		4	3,3	79,2	-120	120	0	256	512	-150
7	20kHz										
8	20kHz		5	4,2	100,8	-120	120	0	256	512	-150
9	20kHz										
10	20kHz		6	5,2	124,8	-120	120	0	256	512	-150
11	20kHz										
12	20kHz		7	4,9	137,2	-140	140	0	256	512	-150
13	20kHz										
14	20kHz		8	5,6	156,8	-140	140	0	256	512	-150
15	20kHz										
16	20kHz		9	5,4	172,8	-160	160	0	256	512	-150
17	20kHz										
18	20kHz		10	6,1	195,2	-160	160	0	256	512	-150
19	20kHz										
20	20kHz		11	6	216	-180	180	0	256	512	-150
21	20kHz										
22	20kHz		12	6,6	237,6	-180	180	0	256	512	-150
23	20kHz										
24	20kHz		13	6,4	256	-200	200	0	256	512	-150
25	20kHz										
26	20kHz		14	6,9	276	-200	200	0	256	512	-150
27	20kHz										
28	20kHz		15	6,7	294,8	-220	220	0	256	512	-150
29	20kHz										
30	20kHz		16	7,2	316,8	-220	220	0	256	512	-150
31	20kHz										
32	20kHz		17	7	336	-240	240	0	256	512	-150



## MEDICIONES

### Pruebas utilizando generador de señales PCE-SDG1010

Pruebas\_PCR\_2013\_04\_11

El primer ensayo se realiza de la siguiente manera:

Se conecta el generador de señales a través de la salida 1 (Cable BNC macho) directamente al PC a través de la tarjeta de sonido (Conector audio)



Fs= 44100

Ventana Blak harris



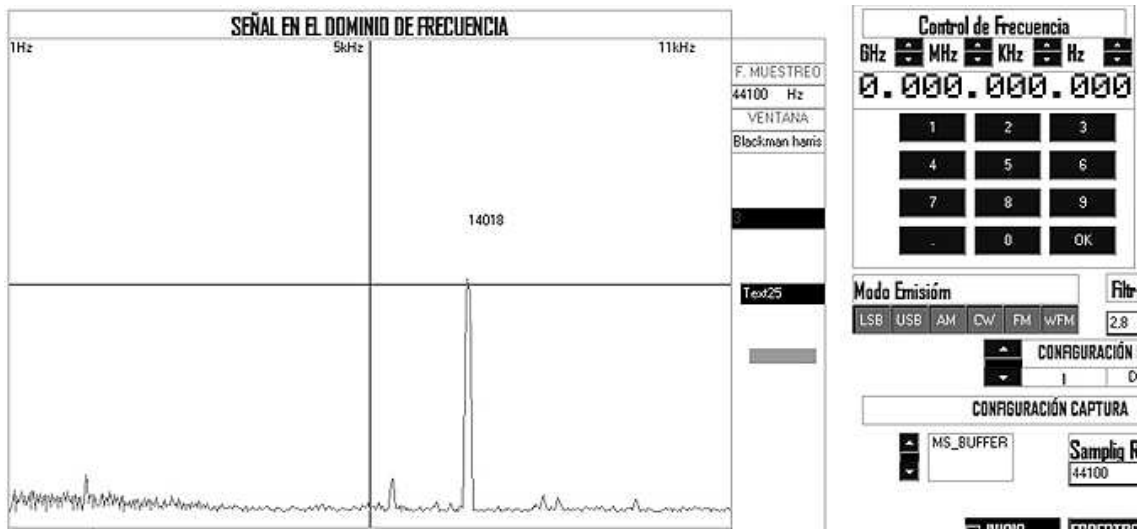


Fig A: Generador de Señales-PC

Aparece un pico de 14 kHz

El segundo ensayo se realiza de la siguiente manera

Se dejan las mismas condiciones de señal generado por el generador de señales

Se conecta la salida del generador (conector BNC macho) a la entrada de antena del receptor PCR 1000 (conector BNC macho).

Se conecta la salida audio del PCR 1000 a la entrada de la tarjeta de sonido del PC.

Se sintoniza la frecuencia a 14 kHz

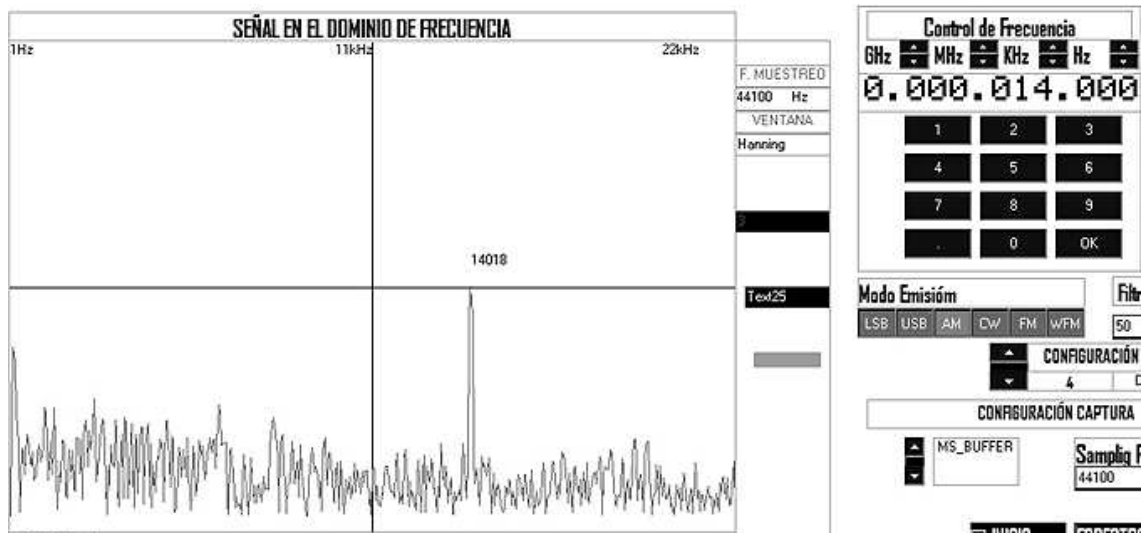


Fig. B: Generador de Señales-ICOM-PC

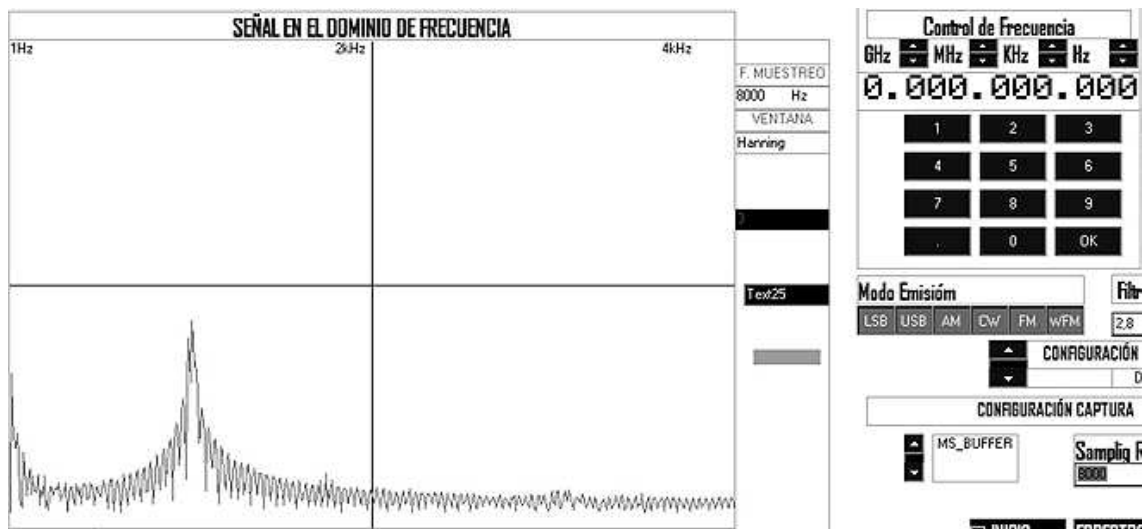
Aparece un pico de 14 kHz

Se conecta directamente el generador a la entrada de tarjeta de sonido del PC

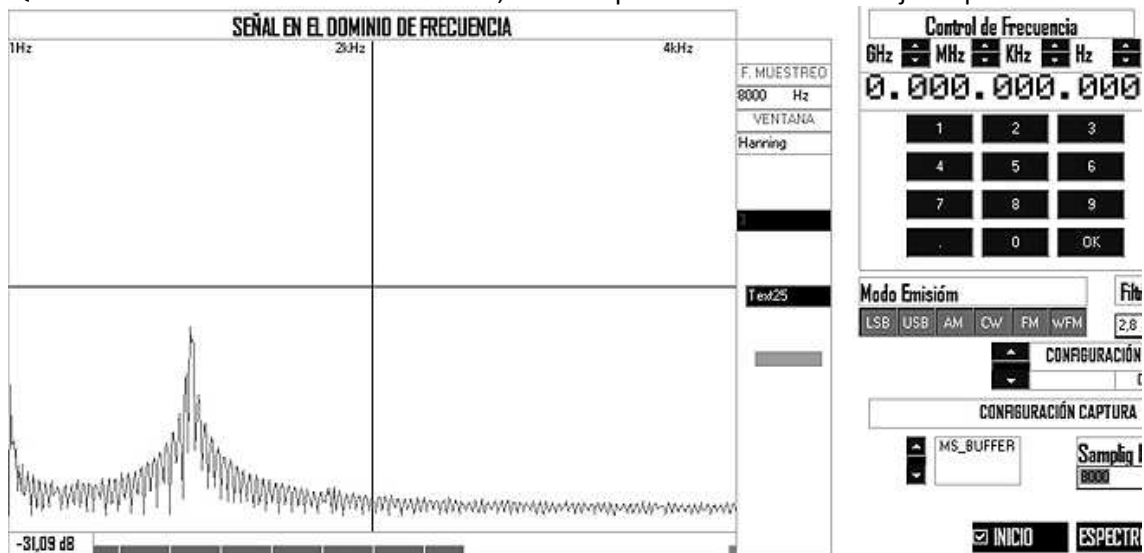
Se enciende el generador y se ajusta la frecuencia de salida a 1 kHz, con una amplitud de 6mVpp



Ajustamos la frecuencia de muestreo a 8 kHz, aplicamos ventana Hanning.



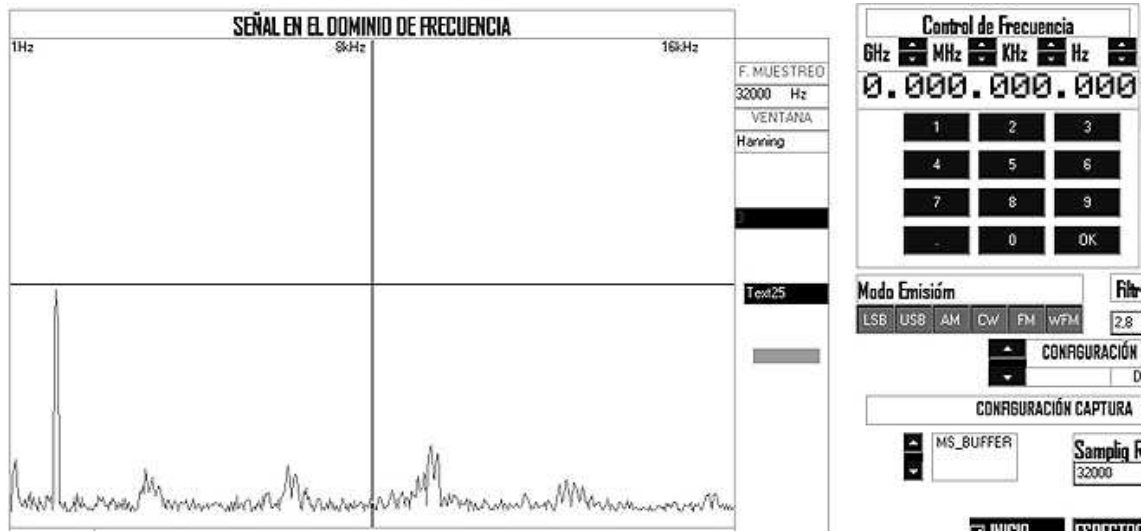
Quitando el cable de alimentación del PC, se nota que el ruido de fondo baja un poco



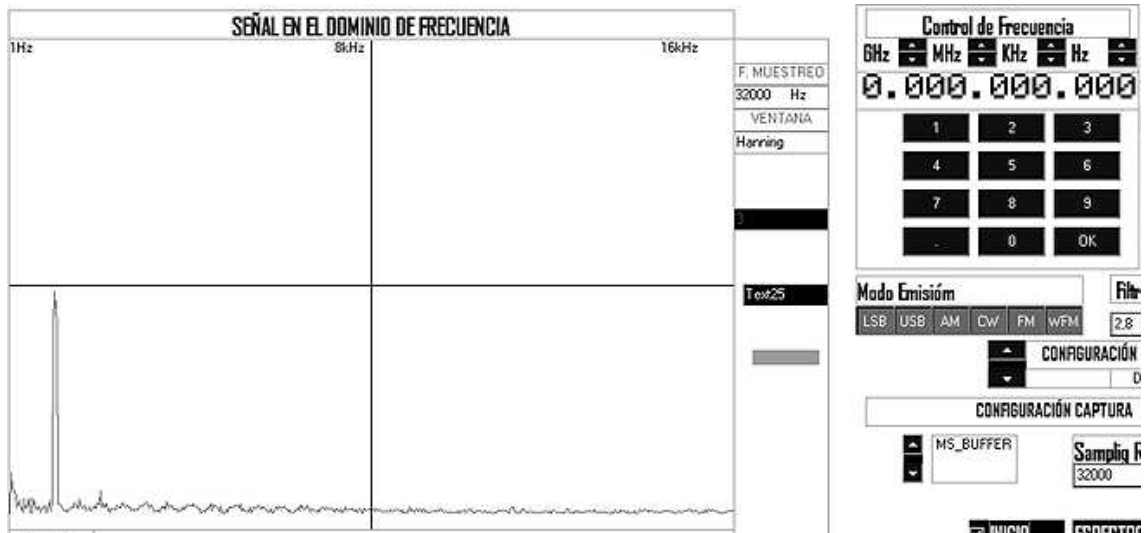
Aumentando la frecuencia de muestreo a 32kHz, obtenemos el resultado siguiente:

Se nota que se obtiene un pico más estrecho en la frecuencia de entrada que medimos a saber, 1kHz.

Aparecen unos picos secundarios en 3, 6, 9, 12 kHz.

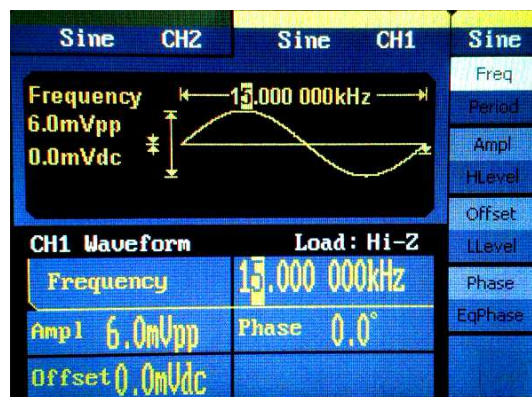


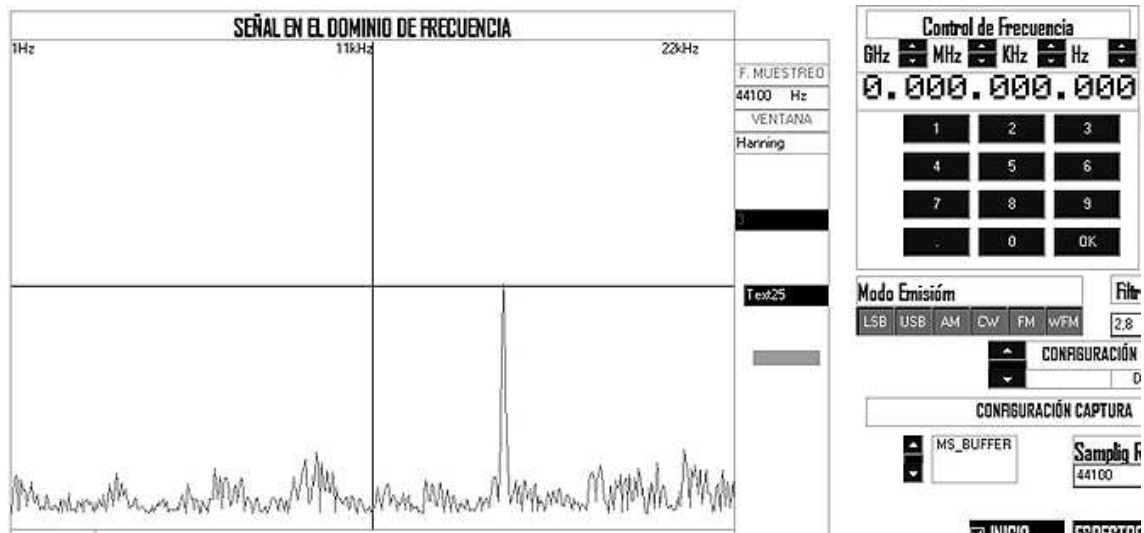
Quitando el cable de la fuente de alimentación del PC, se ve que los picos desaparecen.



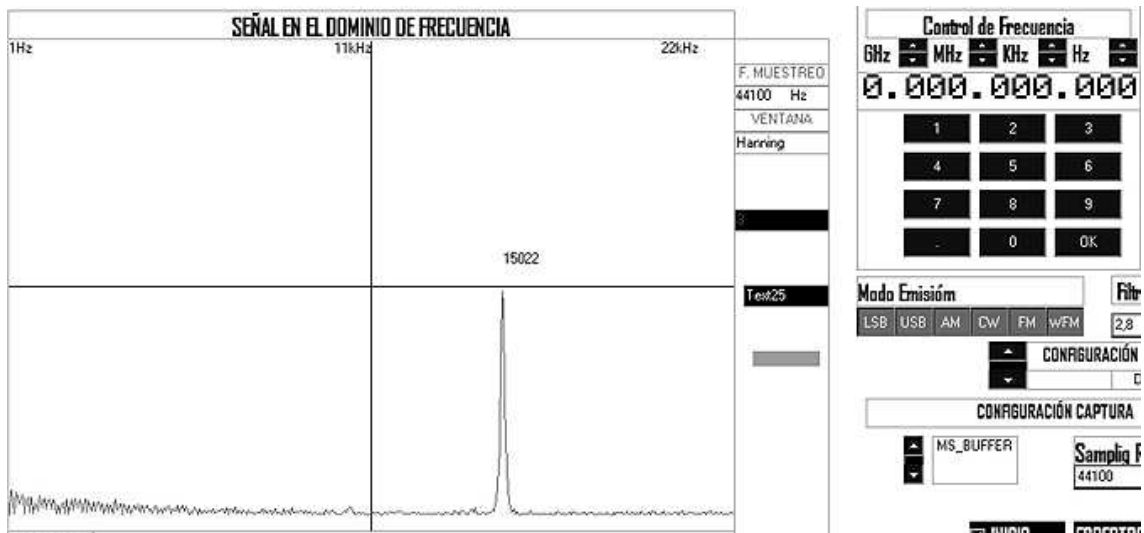
Frecuencia de 15 kHz

Se ajusta la frecuencia de salida del generador a 15 kHz, y aumentamos la frecuencia de muestreo a 44,1 kHz





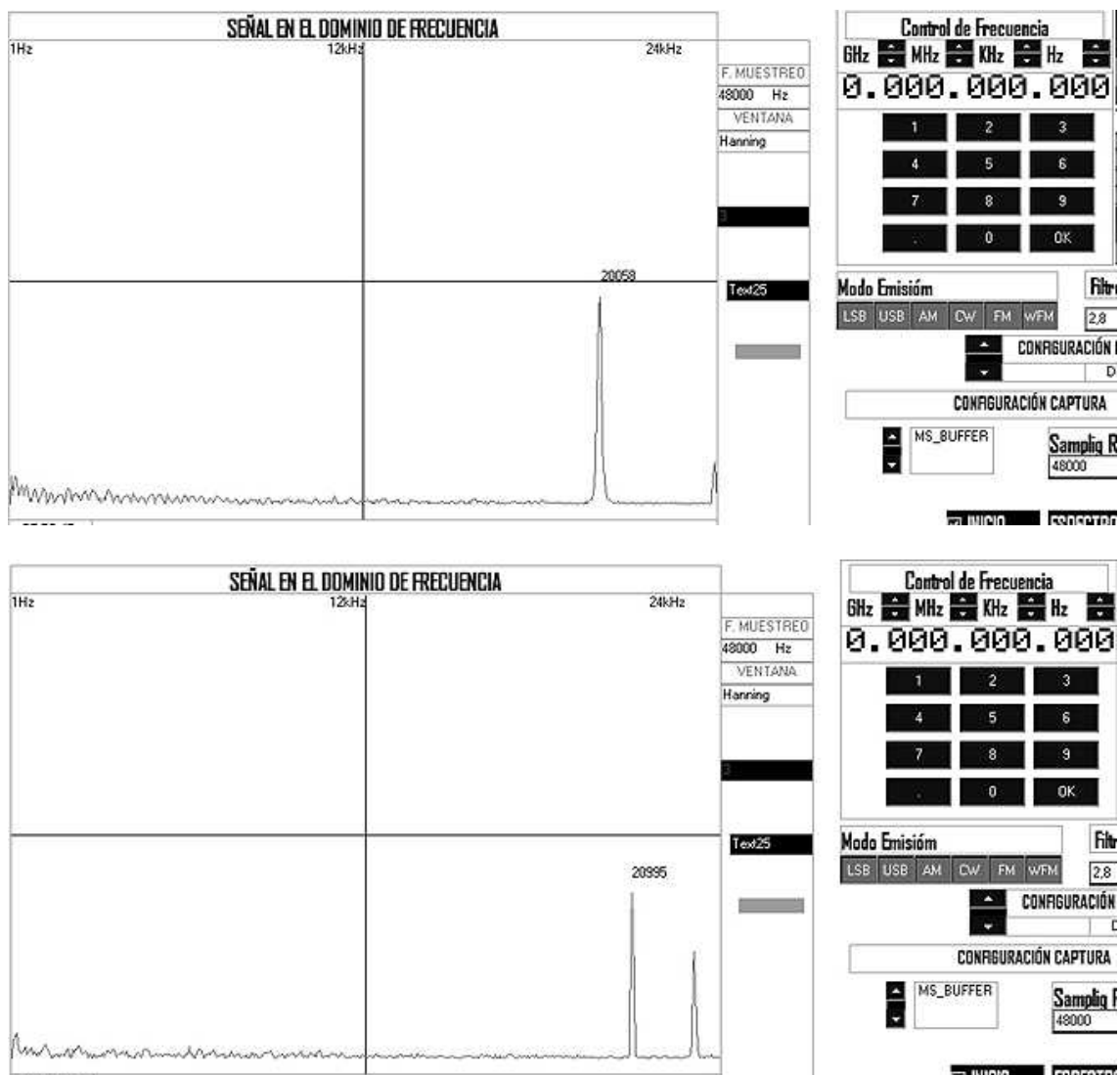
Se realiza la misma medición sin fuente de alimentación del PC, se nota la desaparición de los picos secundarios. Se comprueba que la frecuencia medida es correcta y precisa.

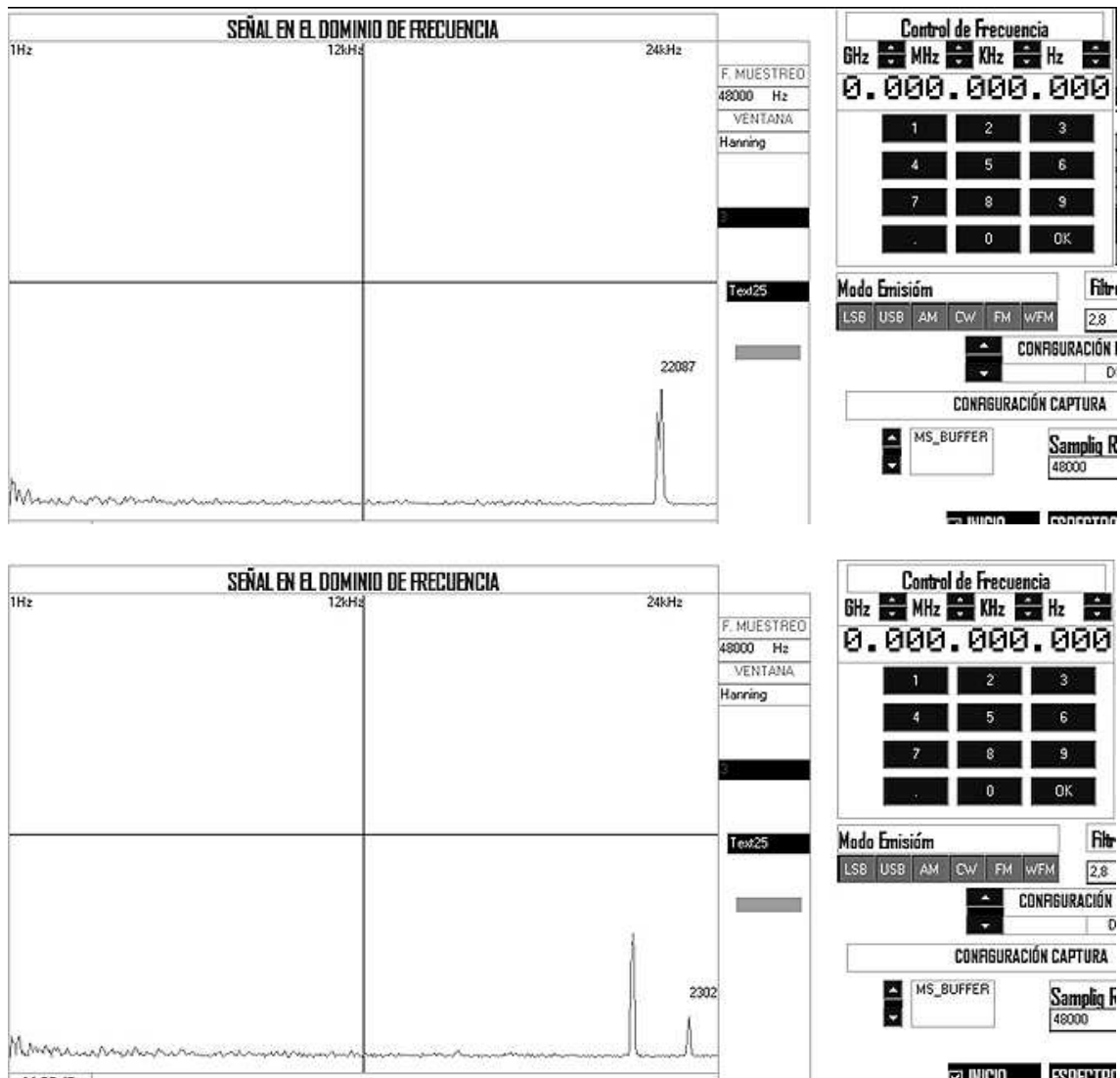


## MEDICIONES

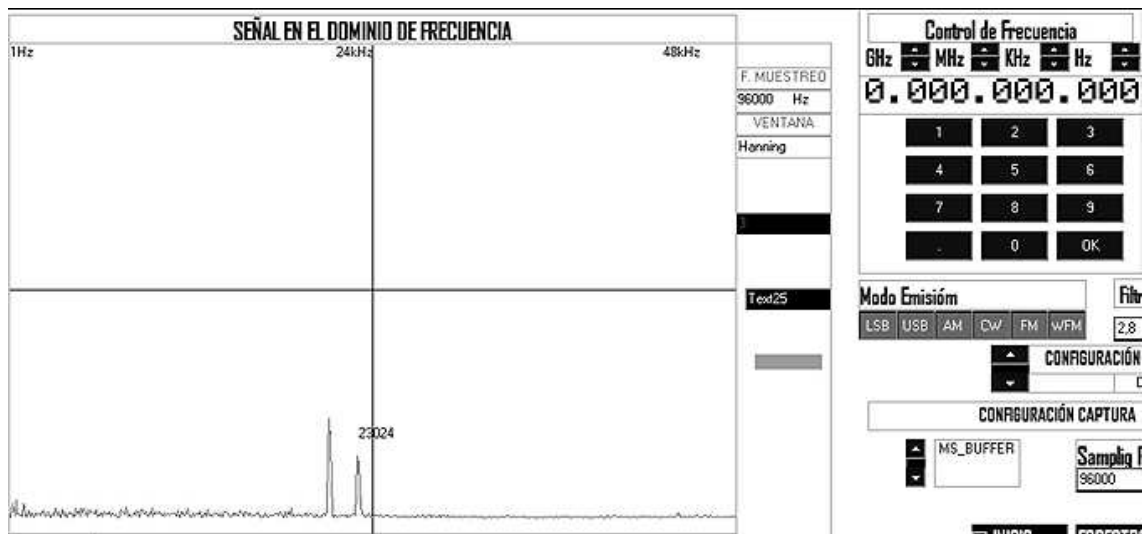
### EVALUACIÓN DEL FILTRO ANTI-ALIASING DE LA TARJETA DE SONIDO

En estos ensayos se comprueba el efecto del filtro anti-aliasing de la tarjeta de sonido. Por eso, se aplica una señal con frecuencia entre 20kHz y 25 kHz en la entrada de la tarjeta de sonido, y ver como actua el filtro anti-aliasing en reducir las frecuencias superiores a la frecuencia de corte del filtro.





Aunque aumentamos la frecuencia de muestreo, este problema sigue, y aparece los picos falsos debido a que en las frecuencias entre 22kHz y 25kHz, la atenuación no esta completa del filtro anti-aliasing, y por lo tanto aparecen picos falsos.

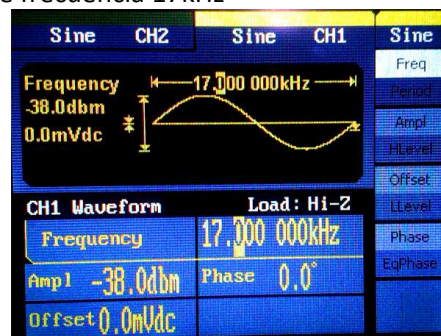


## MEDICIONES: MODULACIÓN AM 22/04/2013

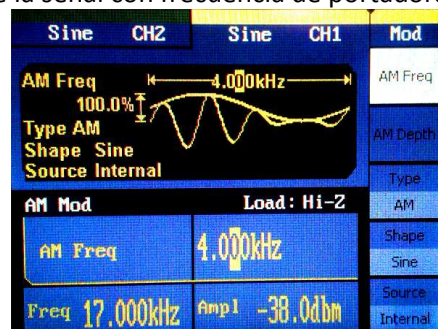


Figura : Pruebas utilizando PC2: HP Core i5

Se genera señal sinusoidal de frecuencia 17kHz



Se realiza modulación AM de la señal con frecuencia de portadora  $f_c=4\text{kHz}$

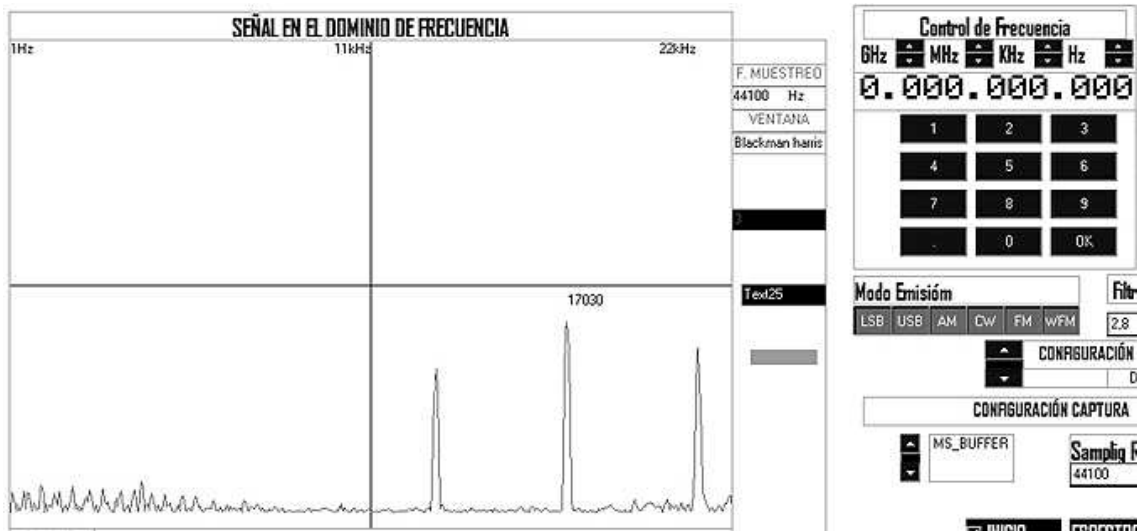


Se analiza la señal con frecuencia de muestreo de 44,1 kHz, se obtiene el siguiente resultado.

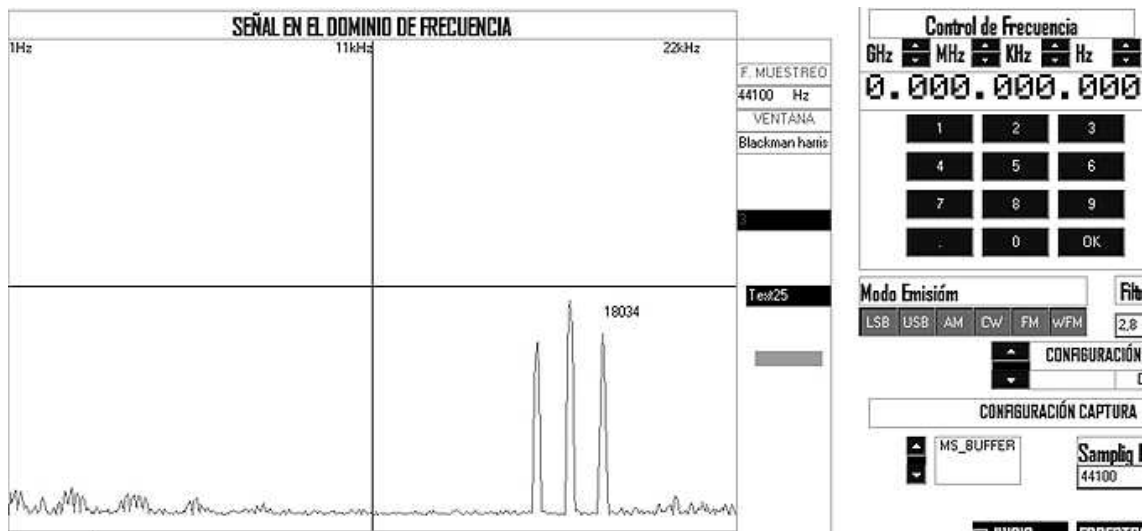
Ventana Black Haris

Se ve un pico en la frecuencia fundamental 17 kHz, y dos bandas laterales una derecha de frecuencia 21kHz y otra izquierda de frecuencia de 13 kHz

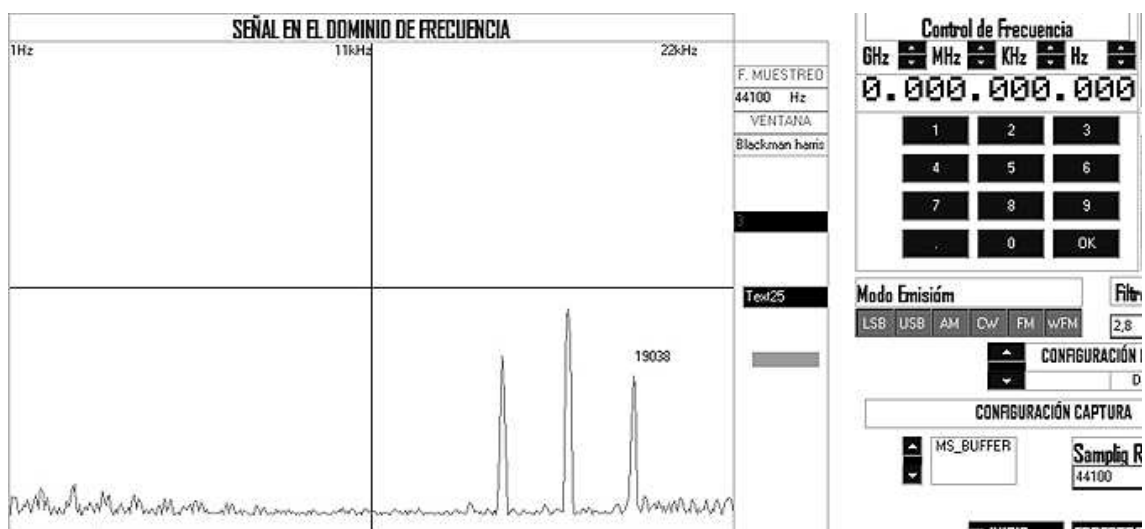




A continuación cambiamos la frecuencia de modulación a  $f_c=1\text{kHz}$

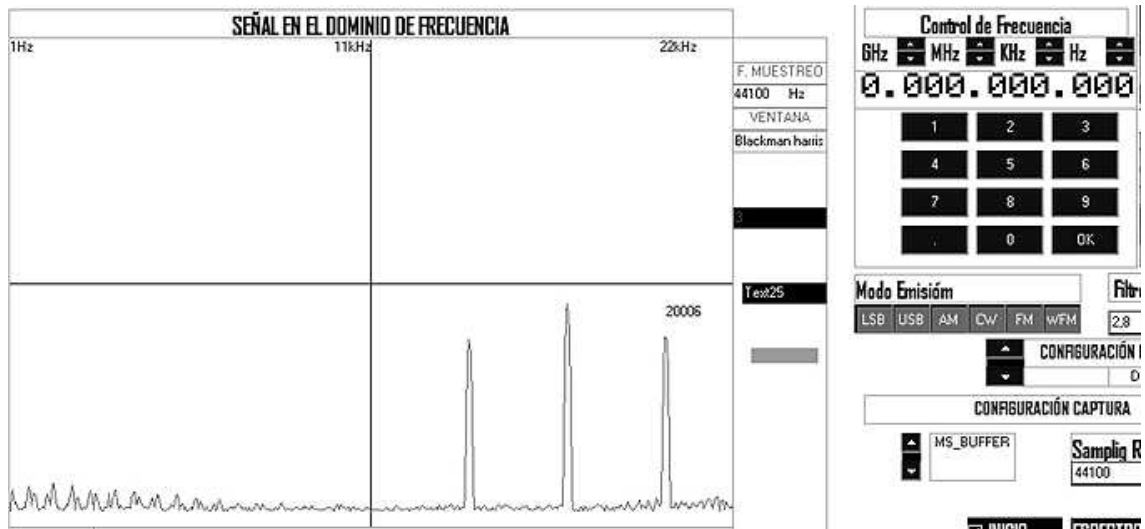


$f_c=2\text{kHz}$

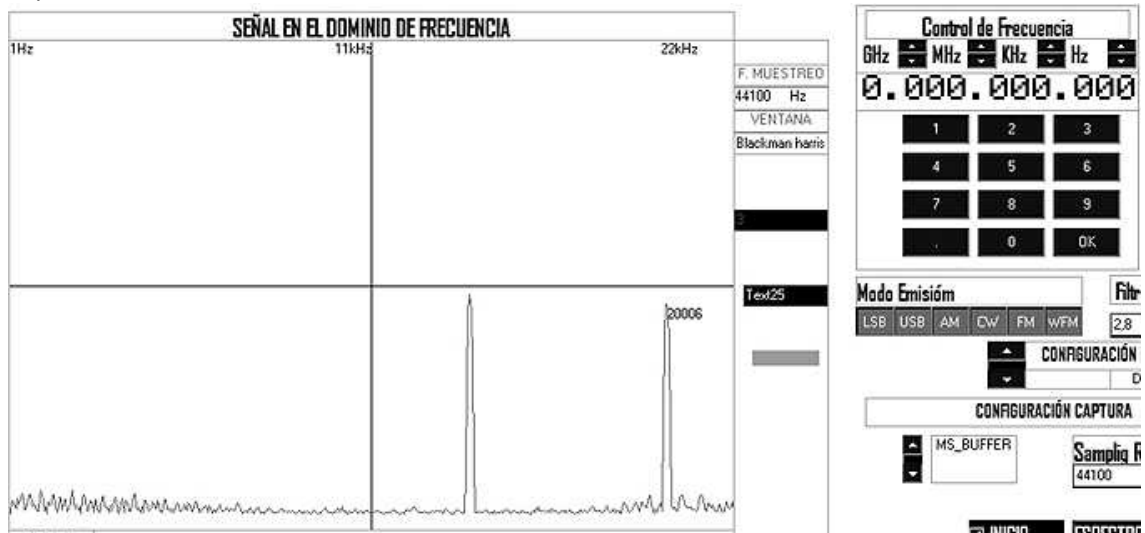


$f_c=3\text{ kHz}$





Dejando  $f_c=3\text{kHz}$  y cambiamos el tipo de modulación a DSB-AM obtenemos el siguiente espectro



La señal sinusoidal máxima que se puede analizar con la tarjeta de sonido directamente es 22kHz.

Para analizar frecuencia más altas, vamos a utilizar el receptor PCR1000 ahora para realizar algunos ensayos.

## MEDICIONES GENERADOR - PCR1000 - PC



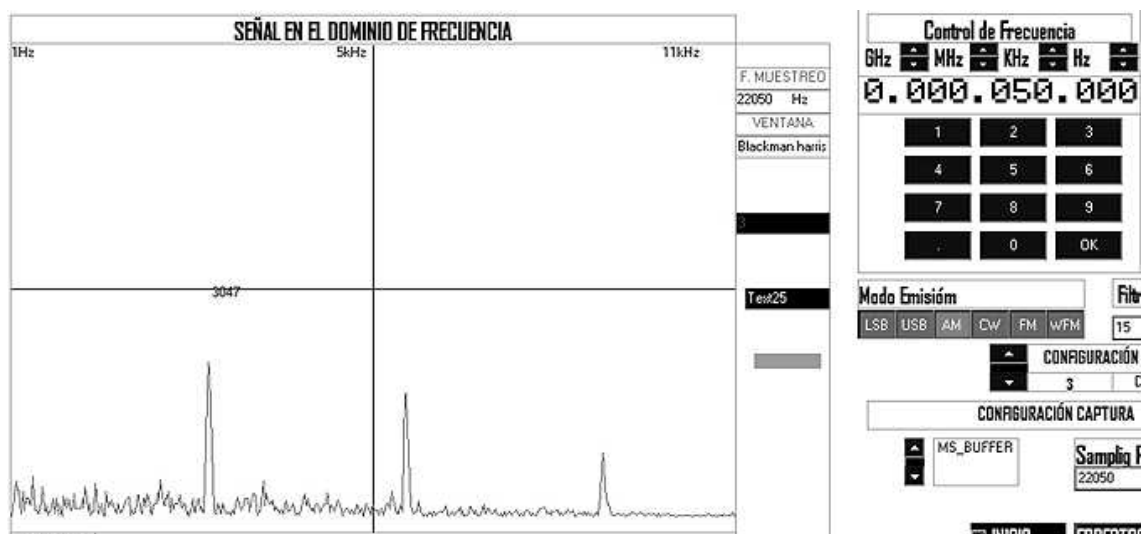
Ajustamos la salida del generador a los siguientes parámetros:

señal sinusoidal con frecuencia = 50 kHz, amplitud -38dbm

señal modulada AM,  $f_c=3$  kHz

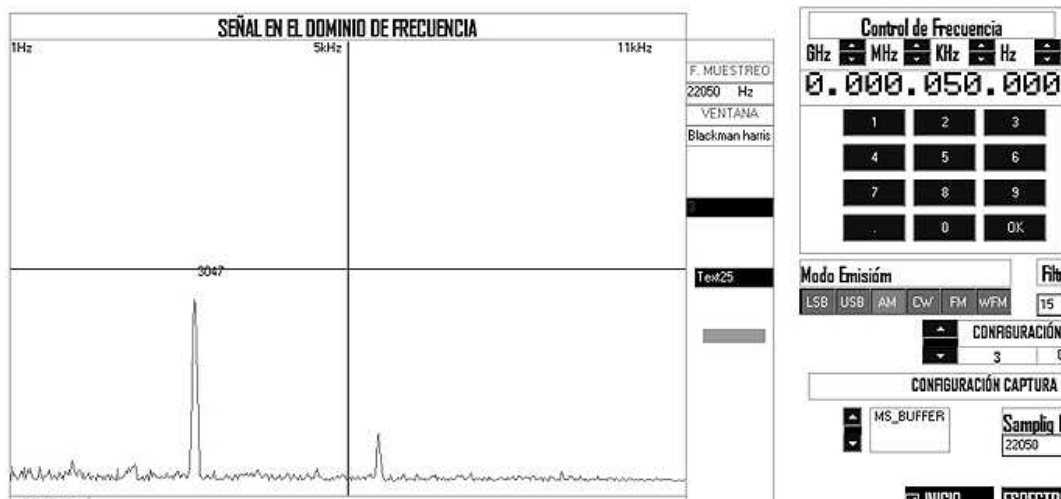
Sintonizamos el receptor al modo AM, frecuencia 50 kHz, filtro 15 kHz, vol J4069

frecuencia de muestreo de análisis es 22,05kHz

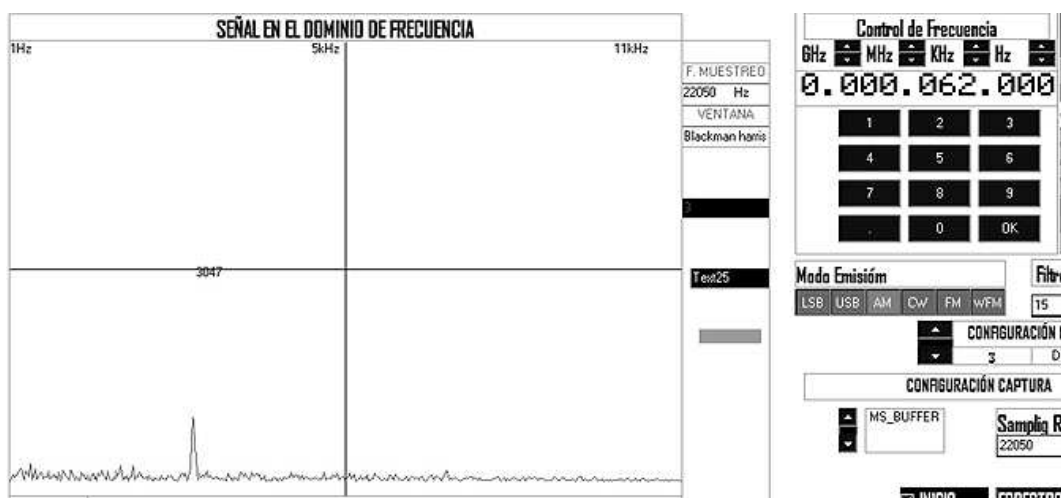
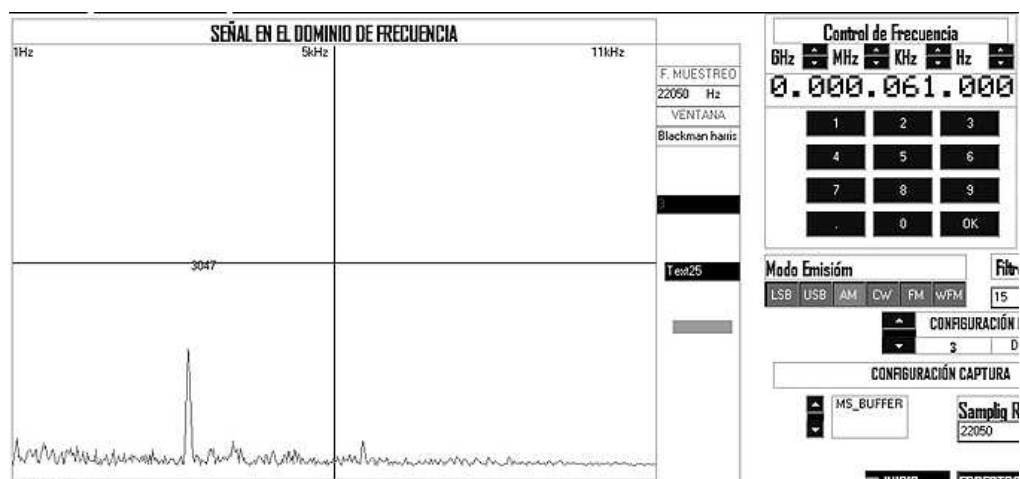


Se ve que aparecen muchos picos secundarios.

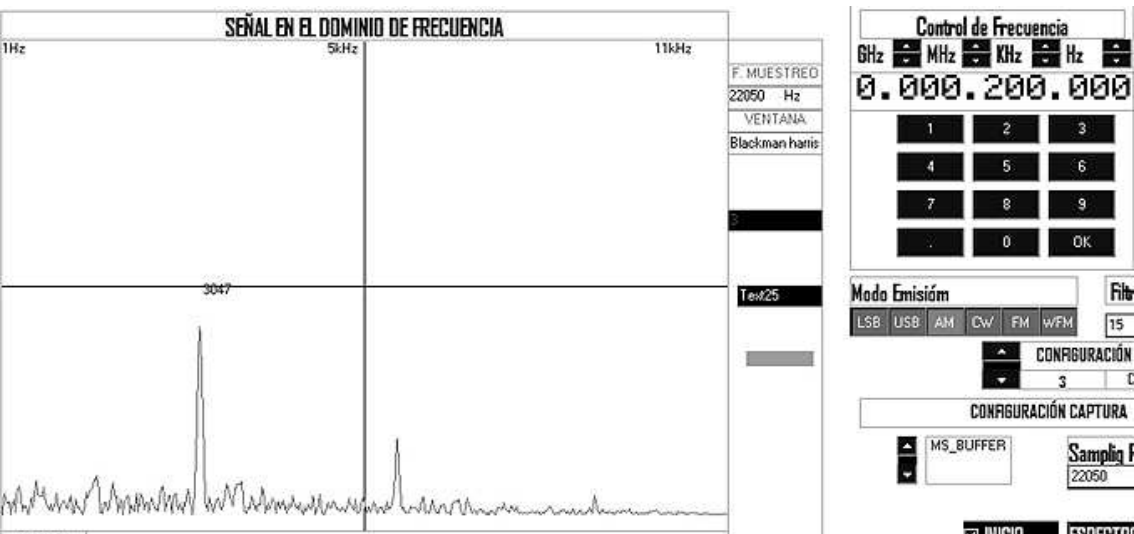
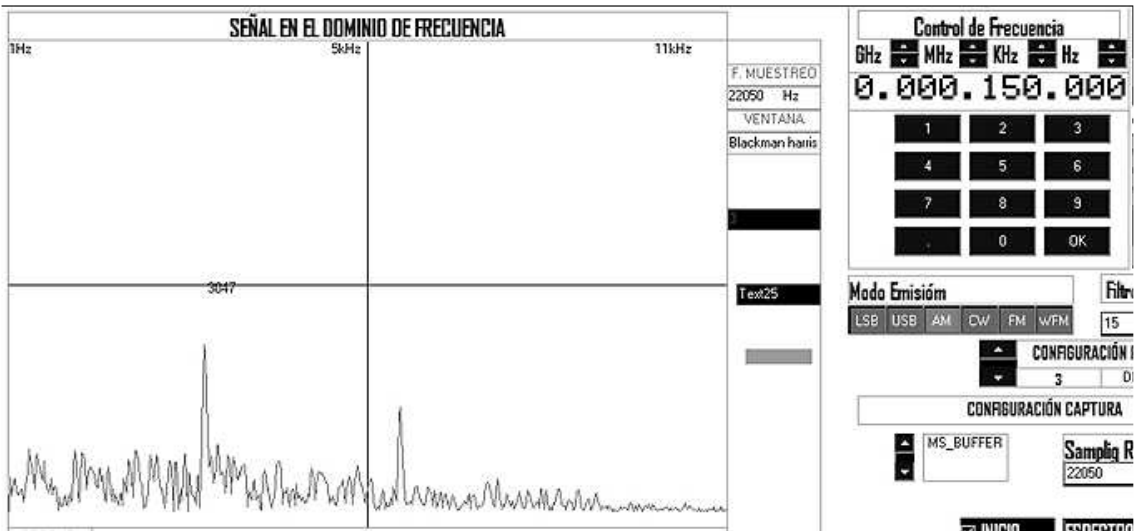
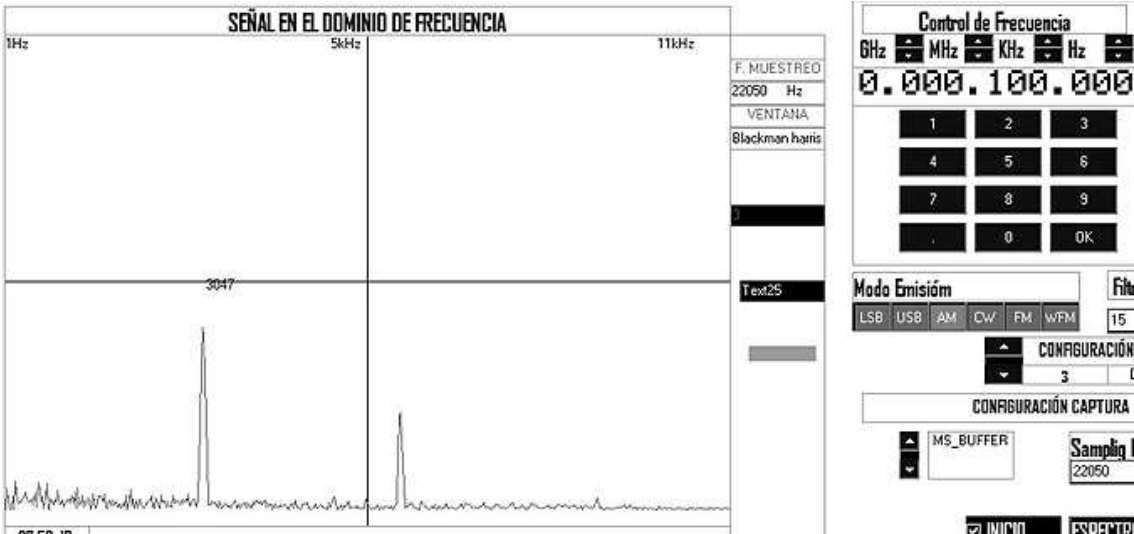
Procedemos a reducir el nivel de amplitud de la señal de entrada a -64dBm



Utilizamos el filtro de 15kHz en el PCR1000, y para comprobar este parametro, procedemos a cambiar la frecuencia del ICOM subiendo desde 50 kHz hasta llegar a 65kHz. A partir de 61 kHz obtenemos un pico mas reducido y cuando llegamos a 65 kHz el pico desaparece, mientras dentro de la banda 50 kHz-60kHz obtenemos la misma gráfica del espectro.



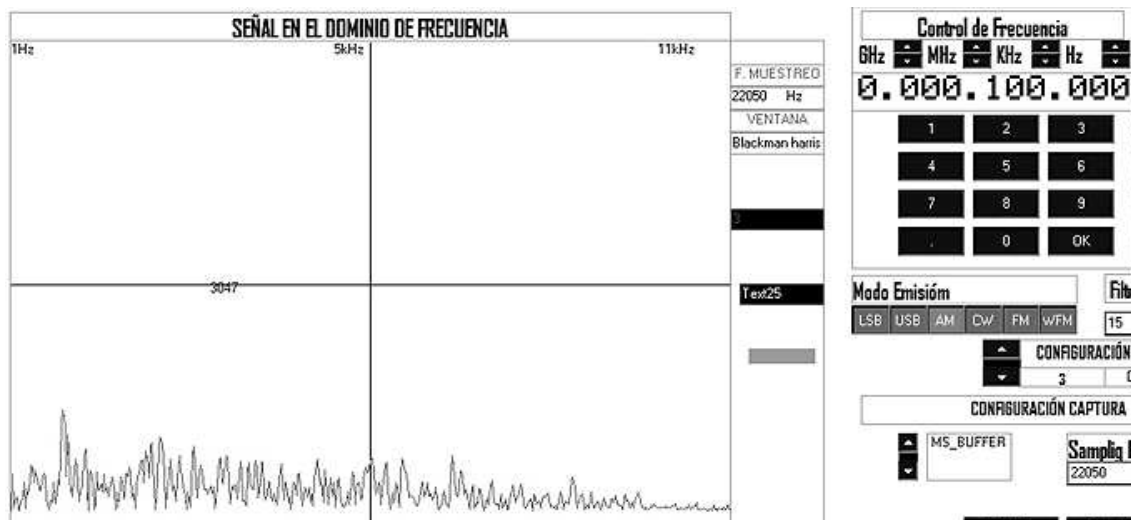
Una de las cosas observadas, es que sintonizando el receptor en las frecuencias de 100 kHz, 150kHz, 200kHz, ...se obtiene un pico con amplitud importante



y esto es debido a la aparición de armónicos.

reducimos el nivel de la señal de entrada a -70dBm, desaparecen los picos en las frecuencia de 150 kHz, 200 kHz, ...., pero se mantiene en la frecuencia 100 kHz.

Reducimos el nivel de la señal de entrada a -83dBm, y se nota que los picos de armónicos se quitan totalmente, incluso en la banda 100 kHz. Ahora la señal de entrada es una pura señal sinusoidal.



# MEDICIONES

## ENSAYOS VHF RADIOTELEFONO

FECHA 20/05/2015

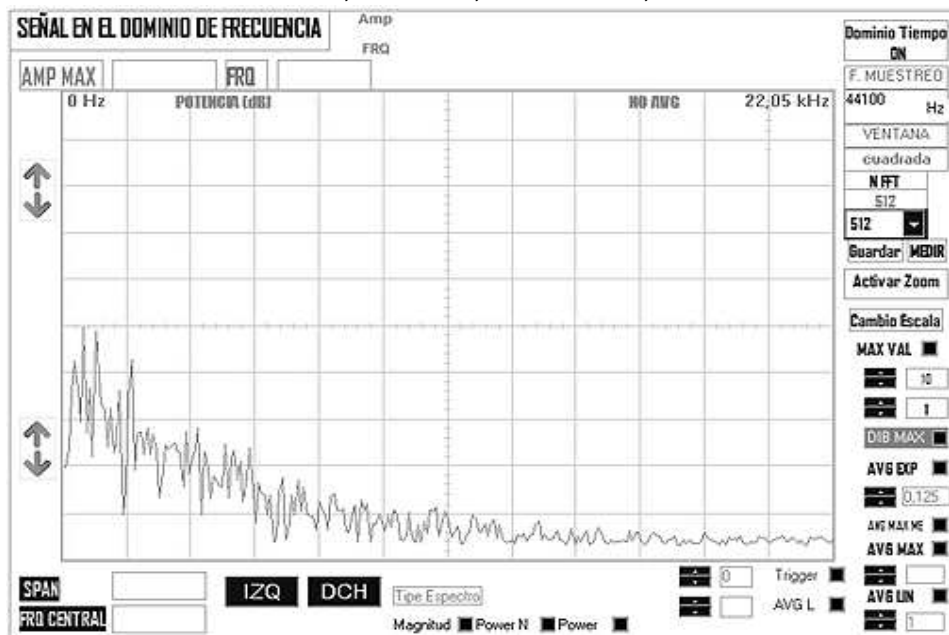
MATERIAL UTILIZADO:

RECEPTOR ICOM PCR1000, PC HP1, RADIOTELEFONO BAOFENG VHF/UHF

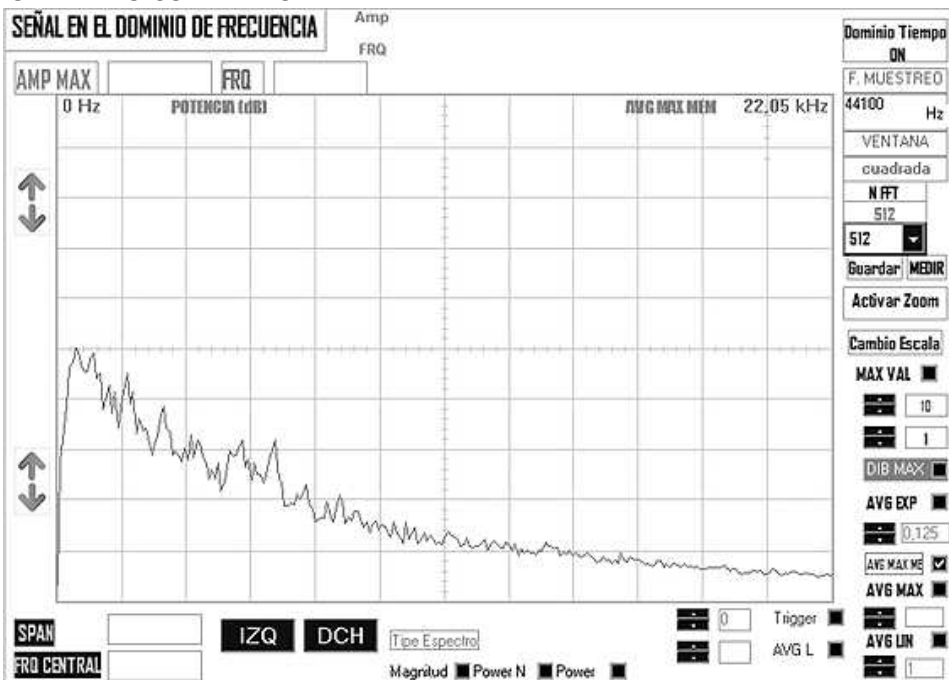
PROGRAMA UTILIZADO: Programa\_REV4\_2015\_05\_19\_ESCANER\_EMC

MODO	BW	VOLUMEN	FS	NFFT	VENTANA
FM	50	J406A	44100	512	CUADRADO

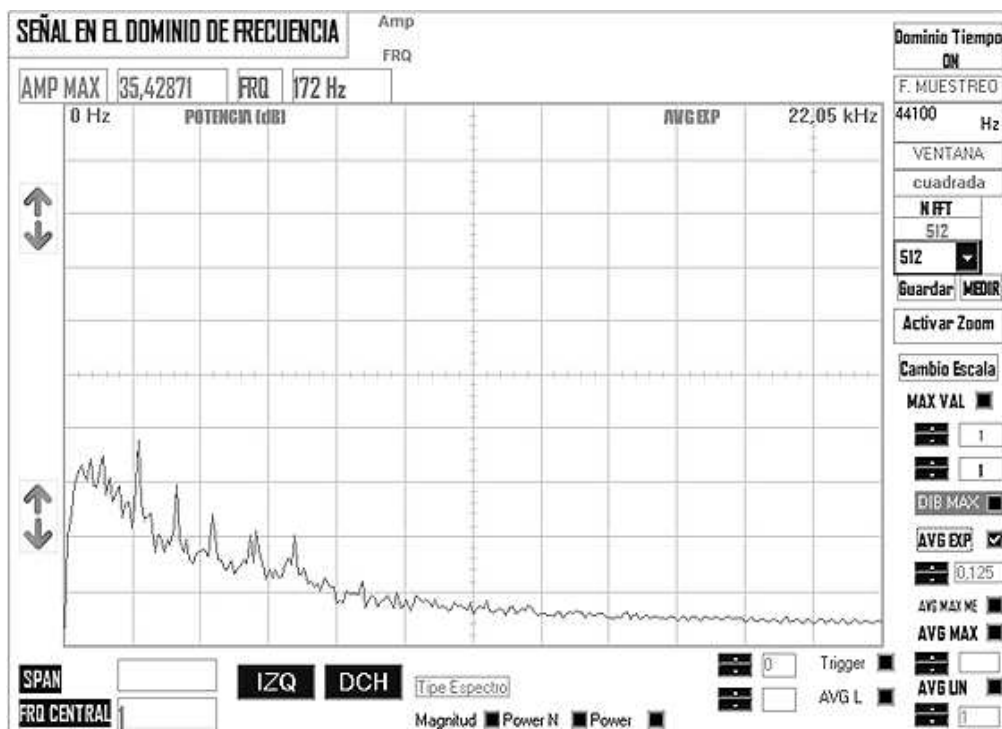
Frecuencia del ICOM: 144.010.00 Hz, Modo FM, Filtro BW: 50, Volumen J406A



AVG TIPO MAXIMO CON MEMORIA



AVG EXP (ALPHA=0.125)



AVG LIN (NUMERO DE BUCLE 20)

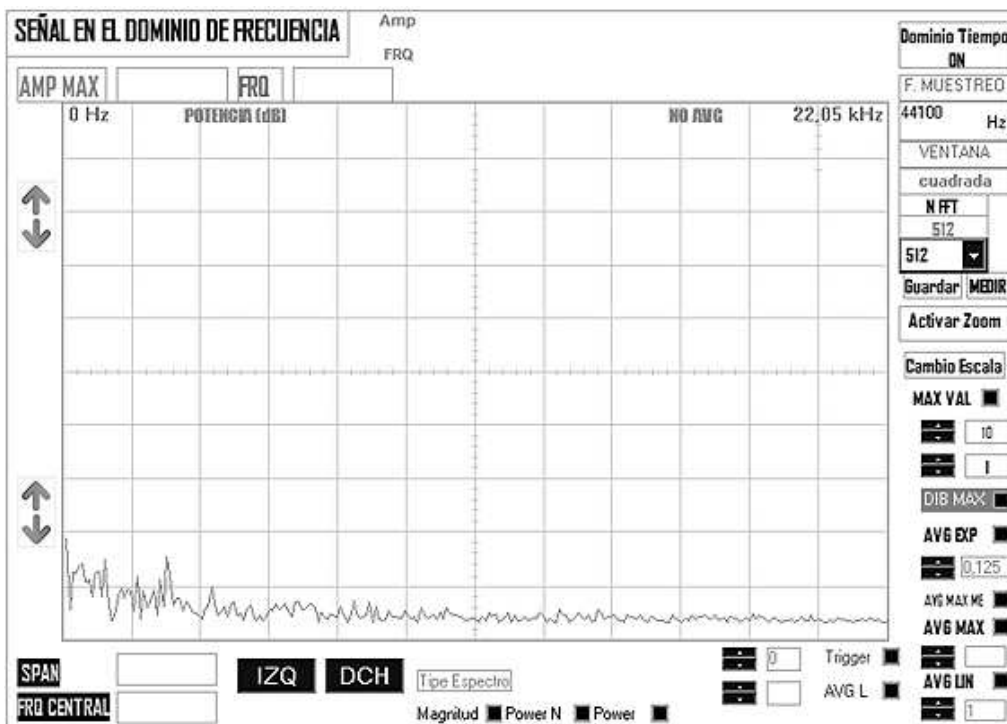


SOLO PORTADORA

FRECUENCIA RADIOTELEFONO  
144.010.000

MODO  
FM

POTENCIA  
NW



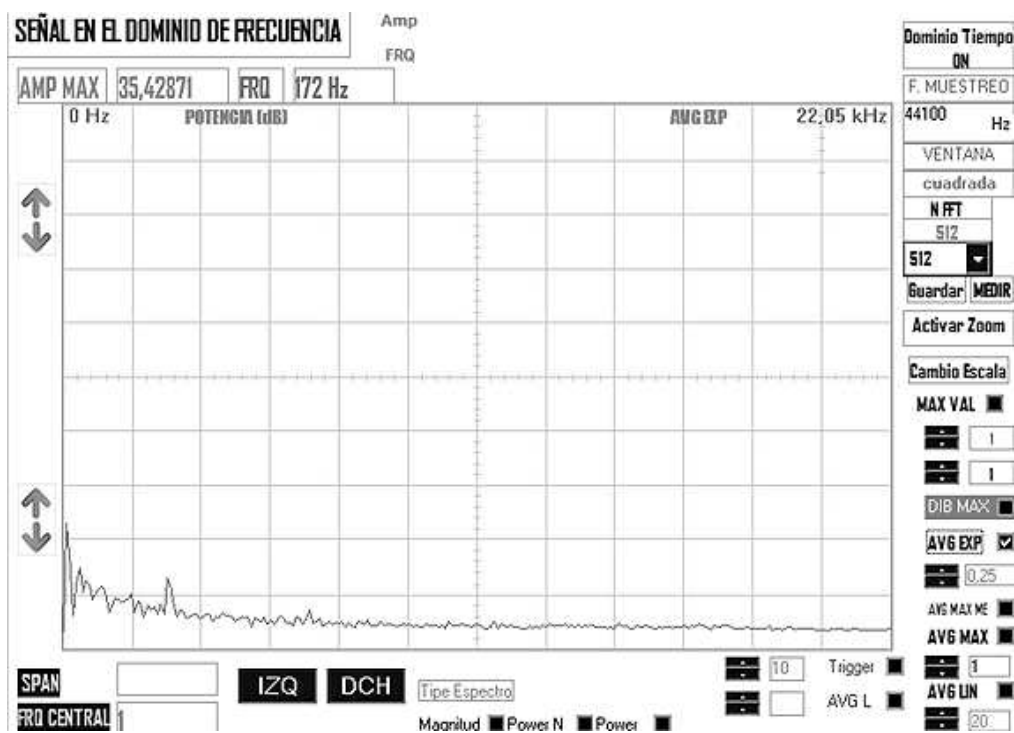
Nivel Smeter: 11A6

AVG TIPO MAXIMO MEMORIA



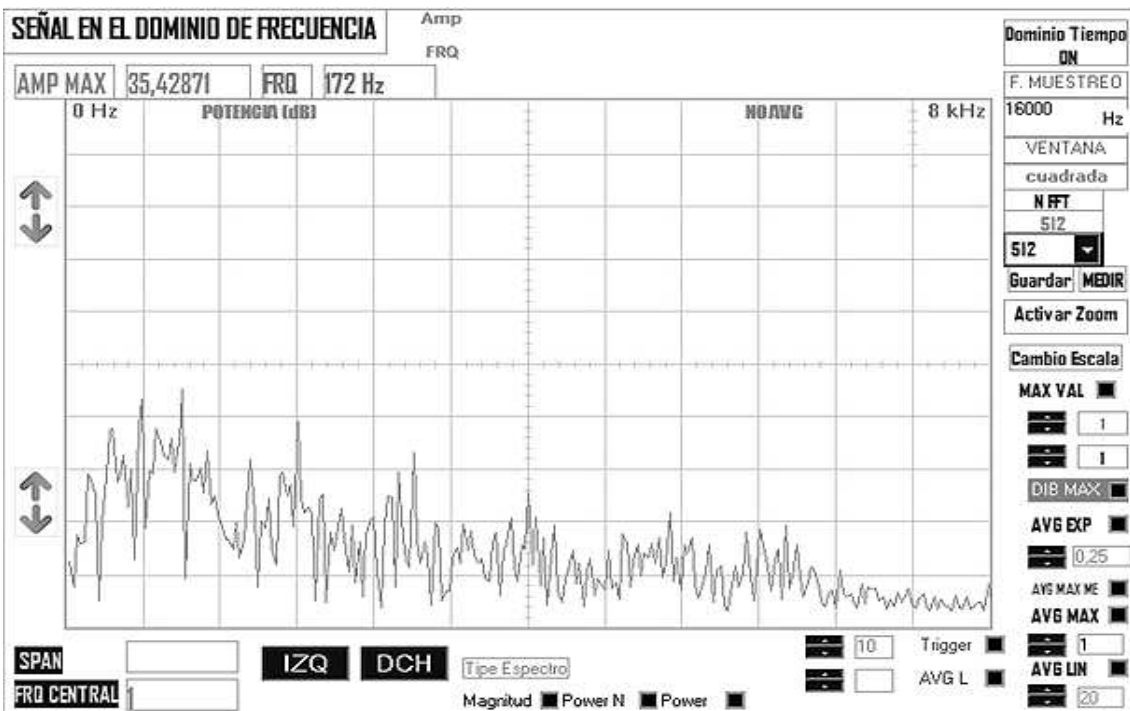


AVG TIPO EXP (ALPHA 0.25)

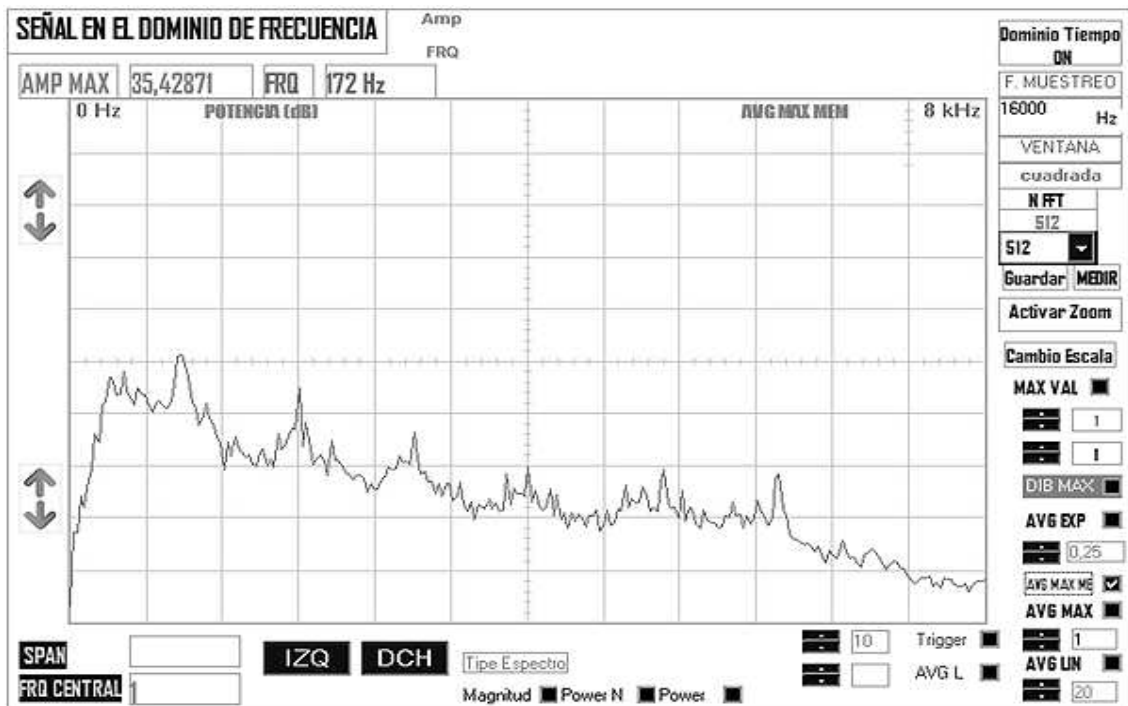


MODO BW VOLUMEN FS NFFT VENTANA  
FM 50 J406A 16000 512 CUADRADO

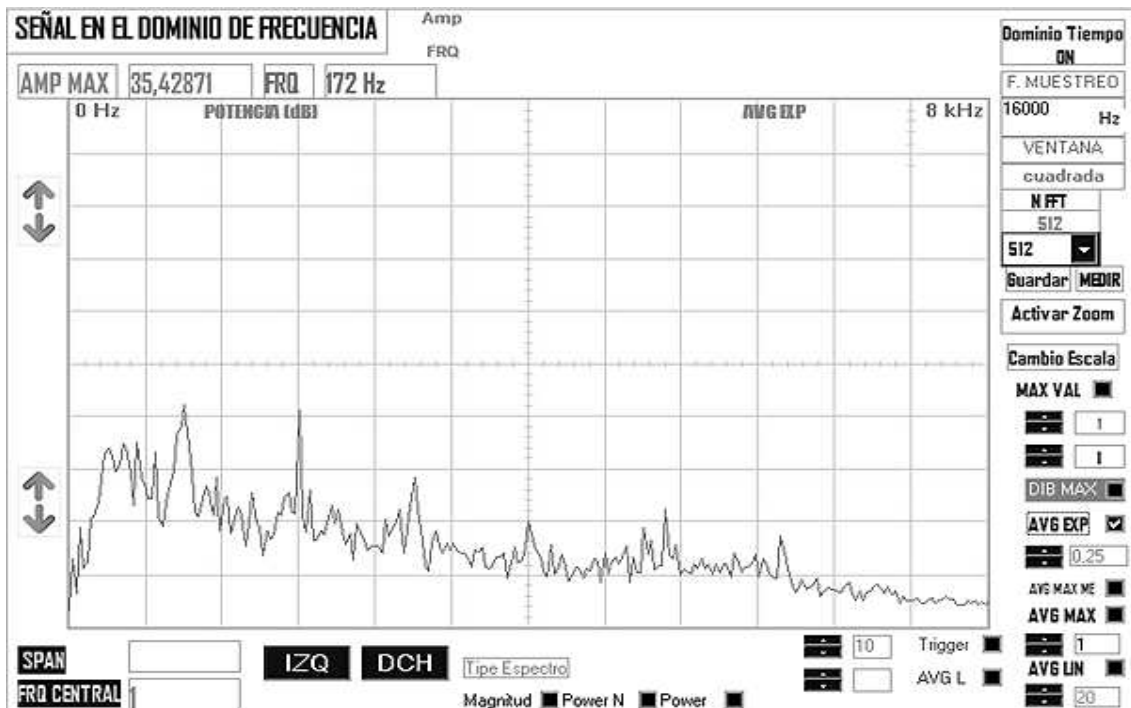
SIN TRANSMISIÓN



## AVG TIPO MAXIMO CON MEMORIA



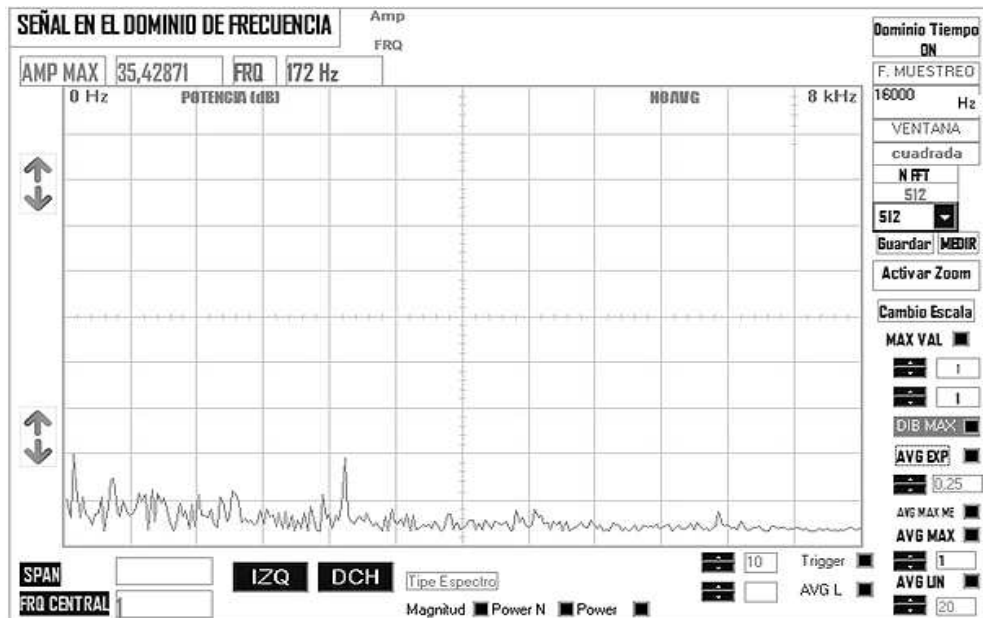
## AVG TIPO MAXIMO (ALPHA 0.25)



## SOLO PORTADORA

MODO	BW	VOLUMEN	FS	NFFT	VENTANA
FM	50	J406A	16000	512	CUADRADO

FRECUENCIA RADIOTELEFONO	MODO	POTENCIA
144.010.000	FM	NW



MODO	BW	VOLUMEN	FS	NFFT	VENTANA
FM	50	J406A	16000	512	CUADRADO

## SOLO PORTADORA

FRECUENCIA RADIO TELEFONO	MODO	POTENCIA
144.010.000	FM	NW

## AVG MAX TIPO MAX MEMORIA Smeter: I1AD



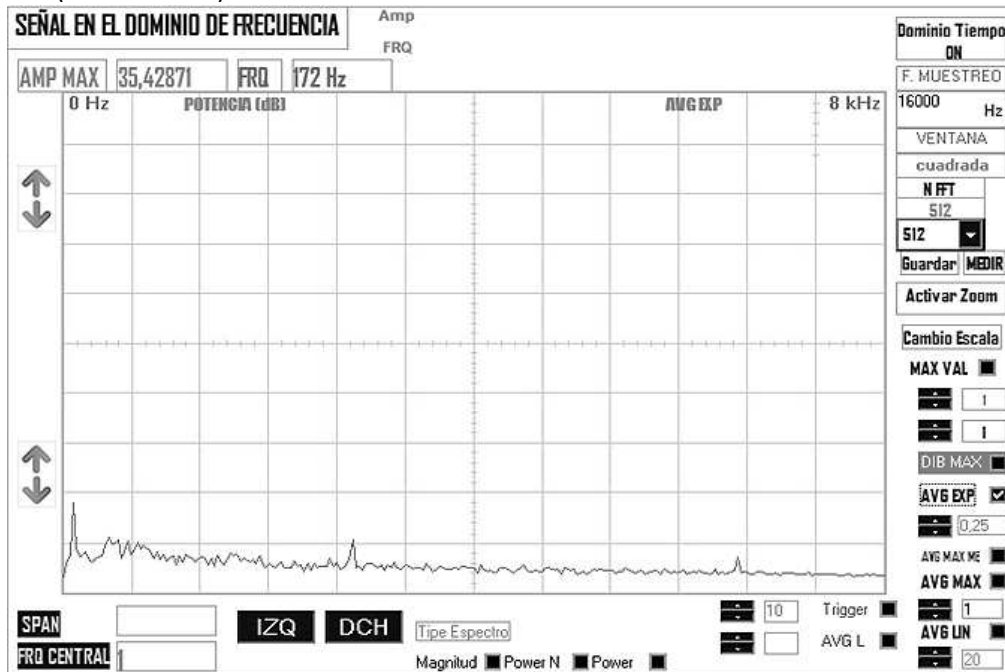
MODO	BW	VOLUMEN	FS	NFFT	VENTANA
FM	50	J406A	16000	512	CUADRADO

SOLO PORTADORA

FRECUENCIA RADIOTELEFONO  
144.010.000

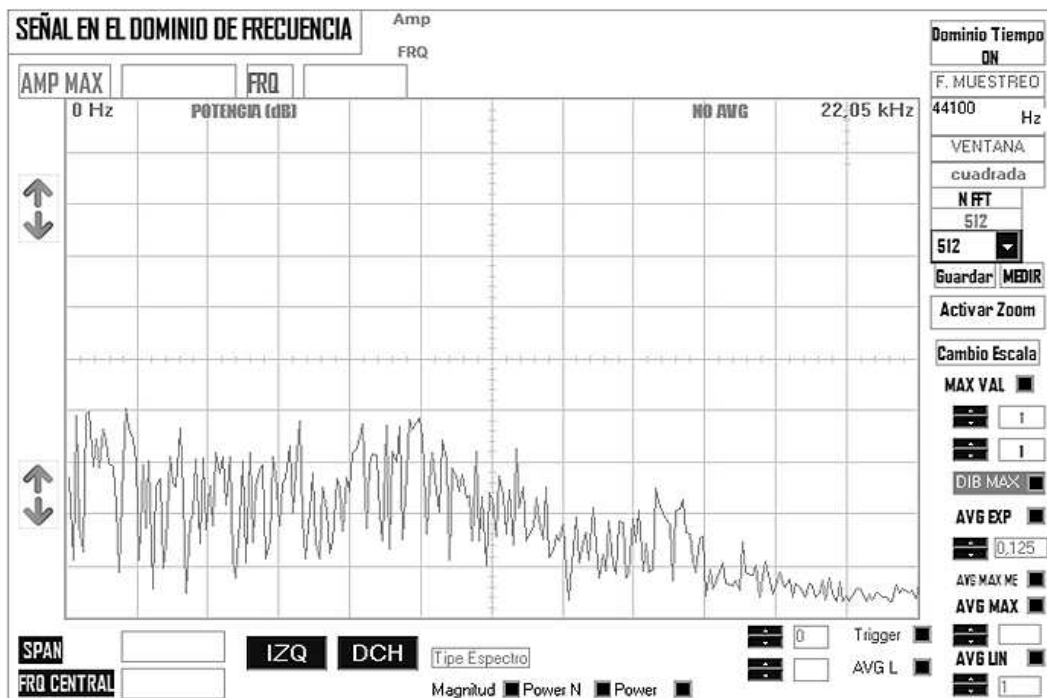
MODO	POTENCIA
FM	NW

AVG EXP (ALPHA =0.25)



LSB, SIN EMISIÓN, Frecuencia ICOM: 144.010.000 MHz, Filtro BW: 50, FS 44100

MODO	BW	VOLUMEN	FS	NFFT	VENTANA
LSB	50	J406A	44100	512	CUADRADO



LSB, SIN EMISIÓN

MODO	BW	VOLUMEN	FS	NFFT	VENTANA
LSB	50	J406A	44100	512	CUADRADO

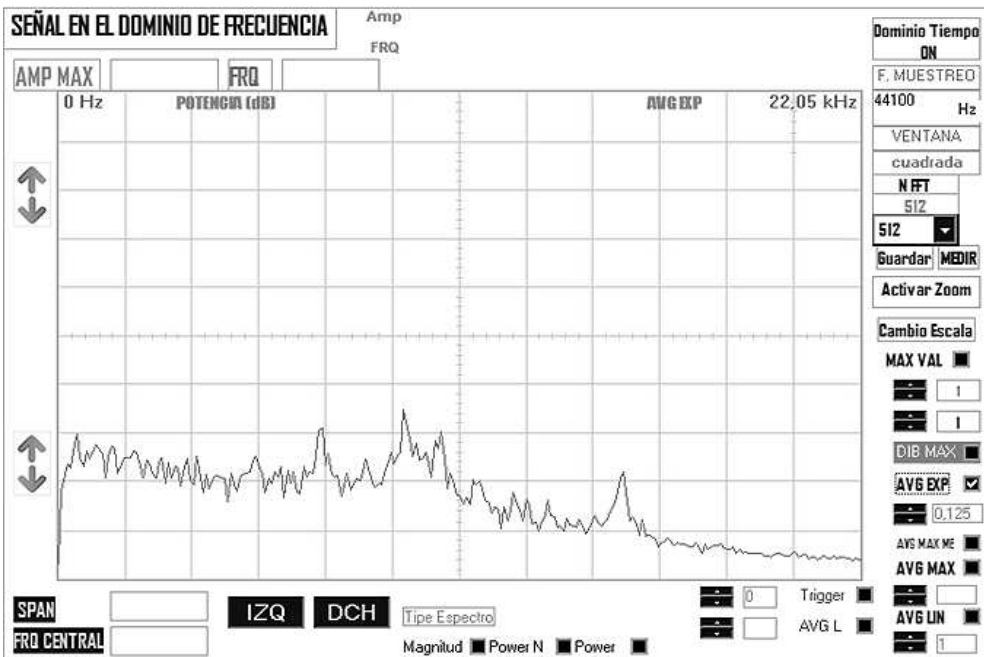
AVG TIPO MAX CON MEMORIA



LSB, SIN EMISIÓN

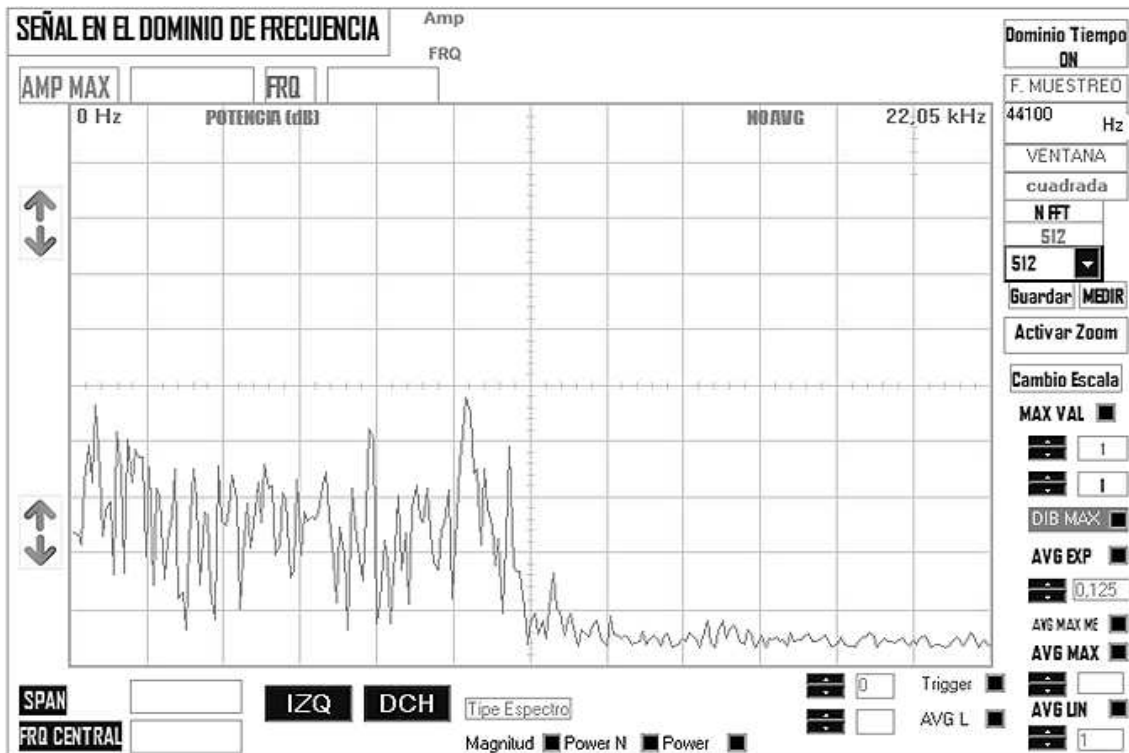
MODO	BW	VOLUMEN	FS	NFFT	VENTANA
LSB	50	J406A	44100	512	CUADRADO

AVG TIPO EXP (ALPHA 0.25)



SIN NINGUN PROMEDIADO, SE REDUCE EL BW DEL ICOM A 15, LSB, SIN EMISIÓN

MODO	BW	VOLUMEN	FS	NFFT	VENTANA
LSB	15	J406A	44100	512	CUADRADO



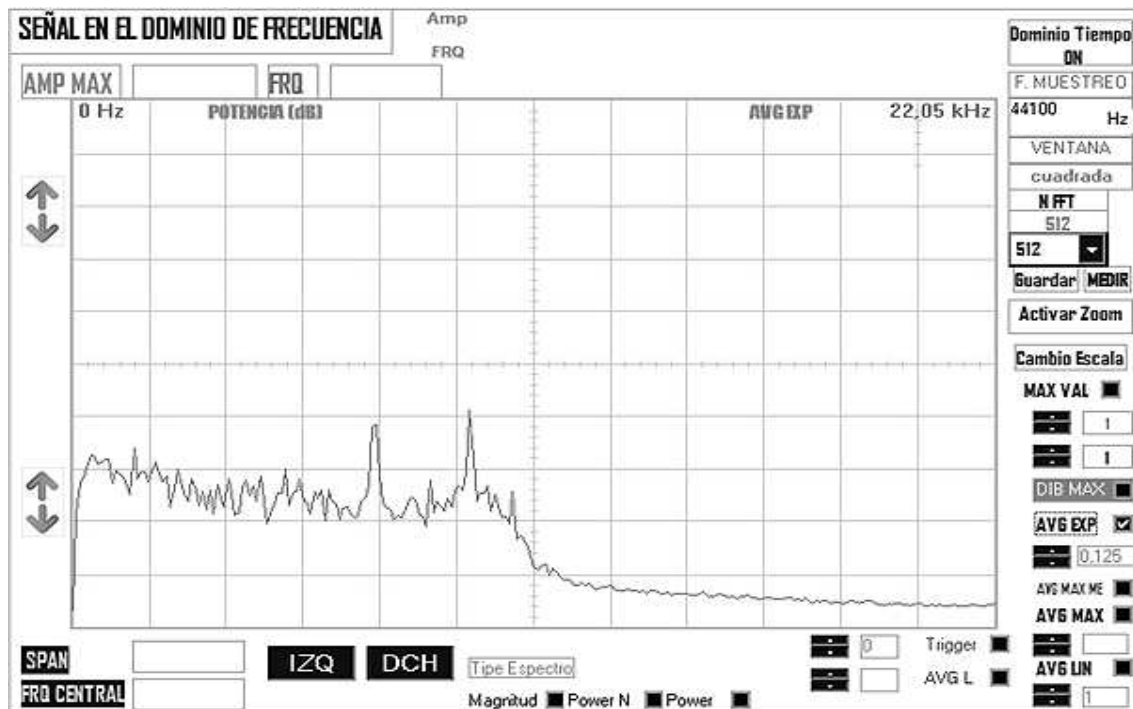
SE APLICA PROMEDIADO TIPO MAXIMO AVG MAX MEMORIA

MODO	BW	VOLUMEN	FS	NFFT	VENTANA
LSB	15	J406A	44100	512	CUADRADO



Se aplica promediado tipo AVG EXP (ALPHA 0.25)

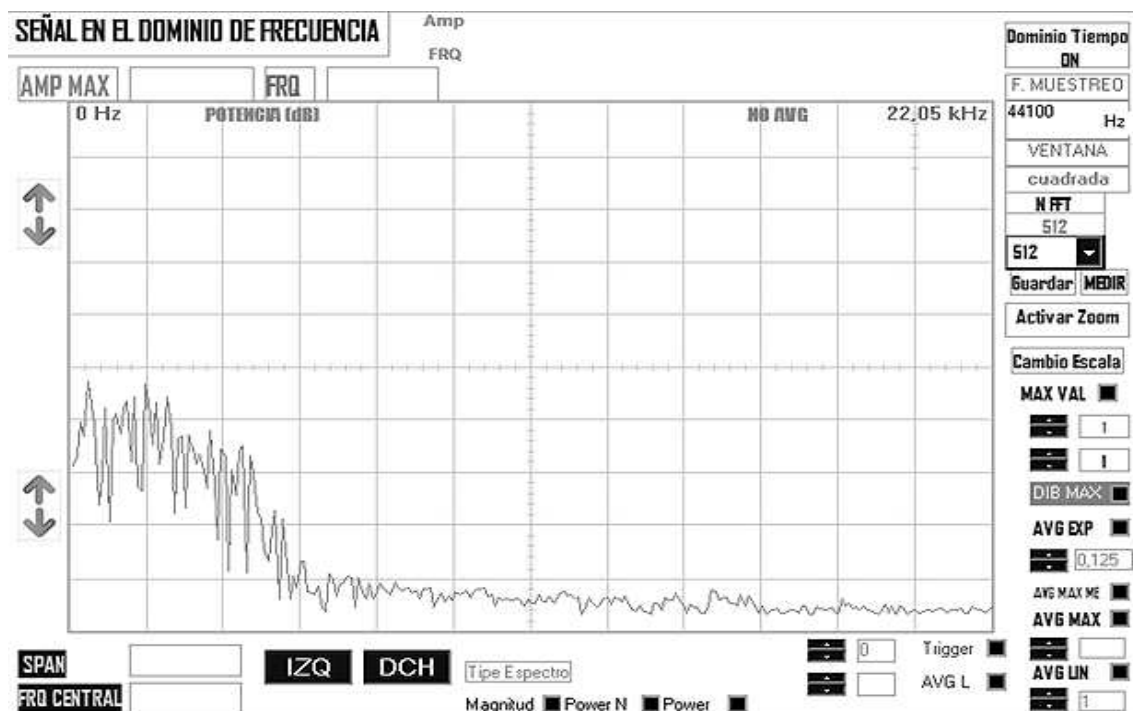
MODO	BW	VOLUMEN	FS	NFFT	VENTANA
LSB	15	J406A	44100	512	CUADRADO



SE REDUCE EL BW DEL ICOM A 6KHZ

MODO	BW	VOLUMEN	FS	NFFT	VENTANA
LSB	6KHZ	J406A	44100	512	CUADRADO

SIN NINGUN PROMEDIADO

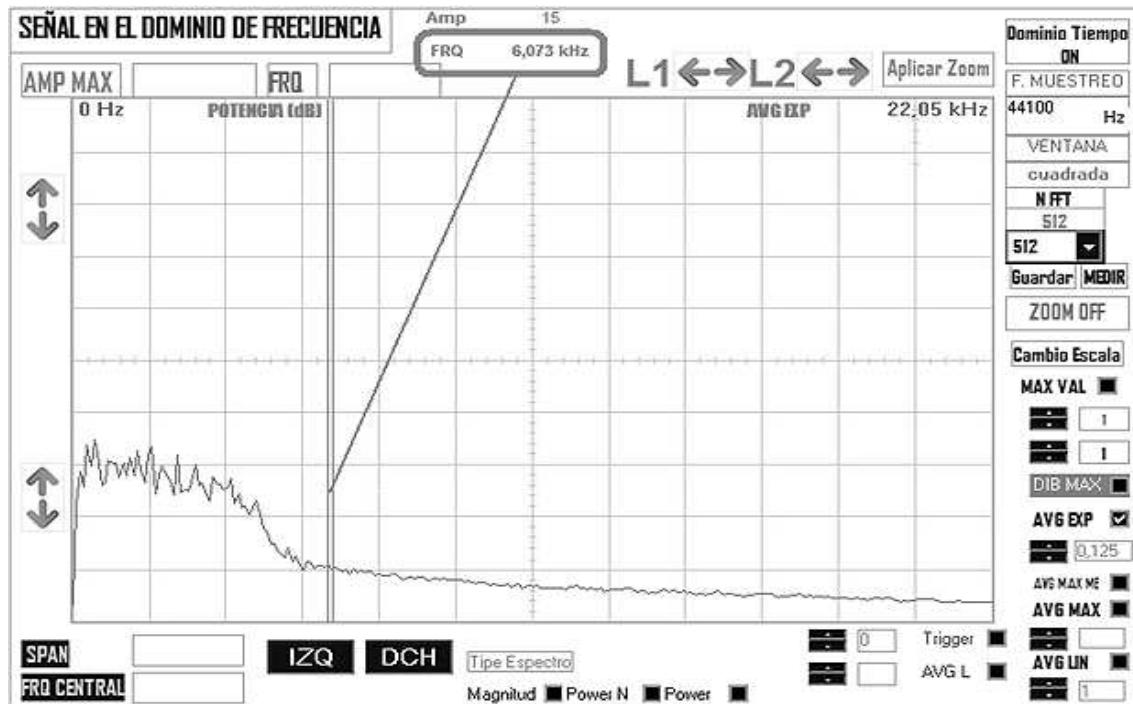


MODO BW VOLUMEN FS NFFT VENTANA  
 LSB 6KHZ J406A 44100 512 CUADRADO  
 AVG TIPO MAX MEMORIA



MODO BW VOLUMEN FS NFFT VENTANA  
 LSB 6KHZ J406A 44100 512 CUADRADO

PROMEDIADO TIPO EXP (ALPHA 0.25)





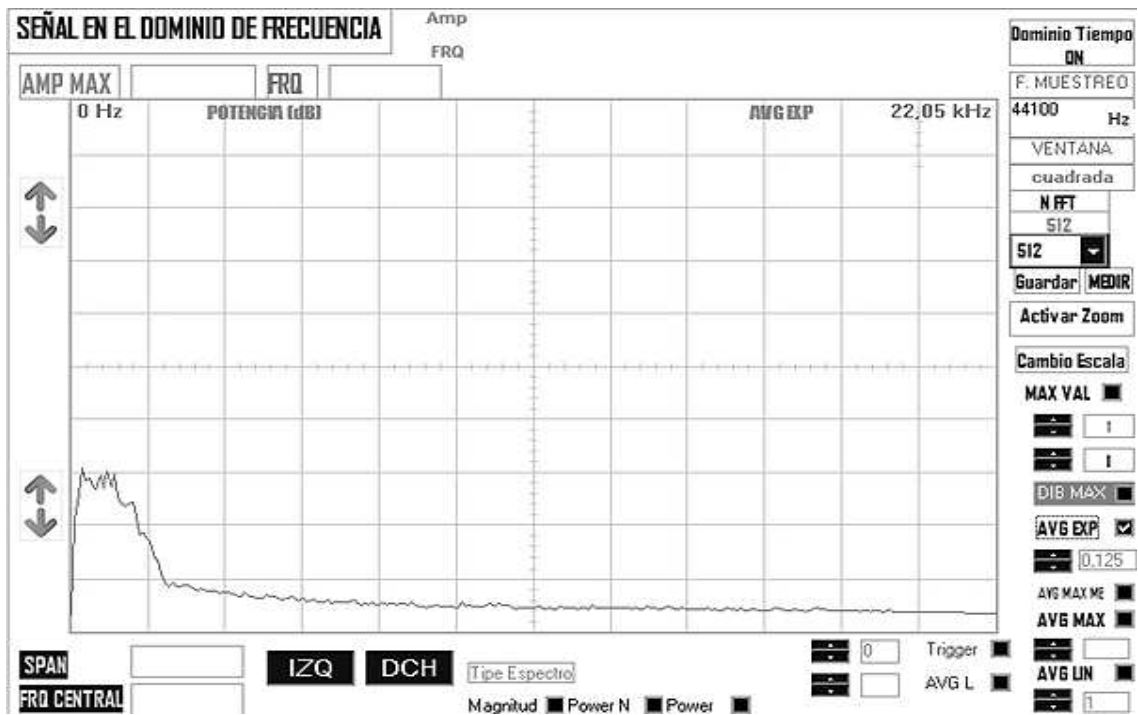
SE REDUCE EL BW DEL ICOM A 2,8 KHZ

MODO	BW	VOLUMEN	FS	NFFT	VENTANA
LSB	2.8 KHZ	J406A	44100	512	CUADRADO



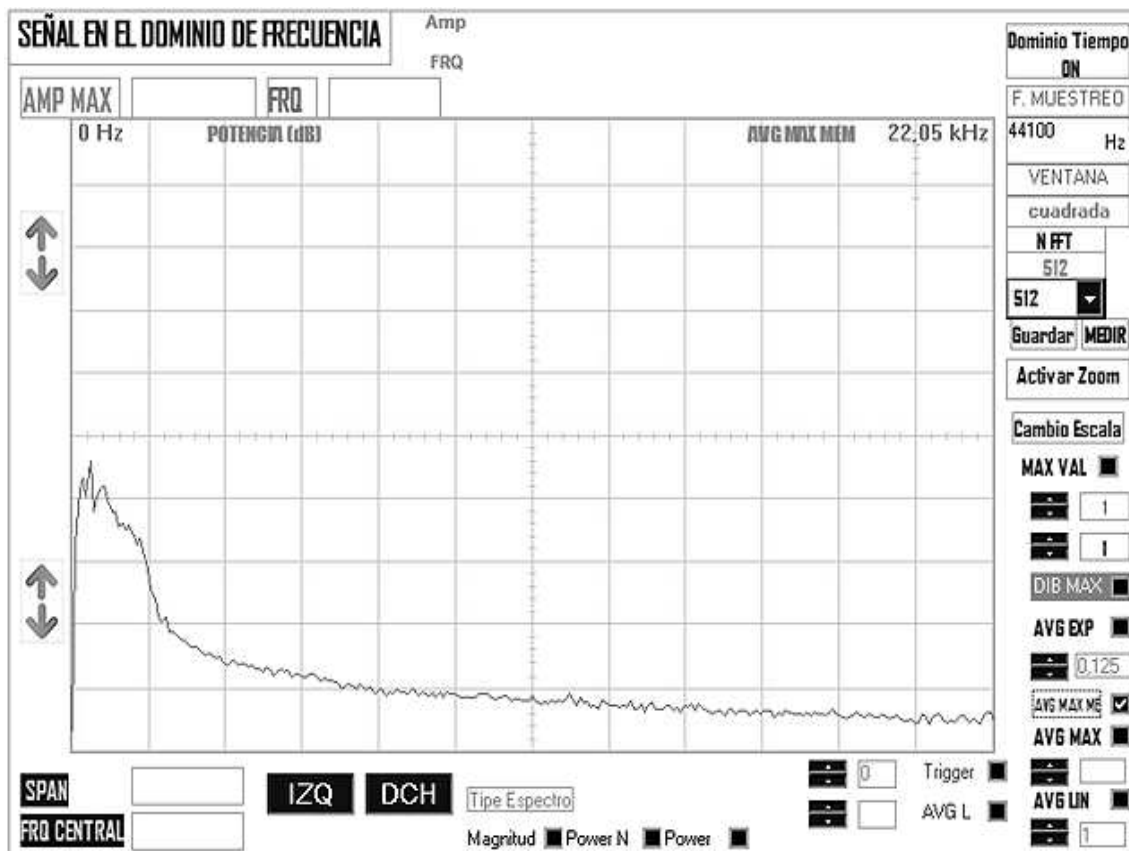
MODO	BW	VOLUMEN	FS	NFFT	VENTANA
LSB	2.8 KHZ	J406A	44100	512	CUADRADO

PROMEDIADO EXP



## PROMEDIADO TIPO MAX MEMORIA

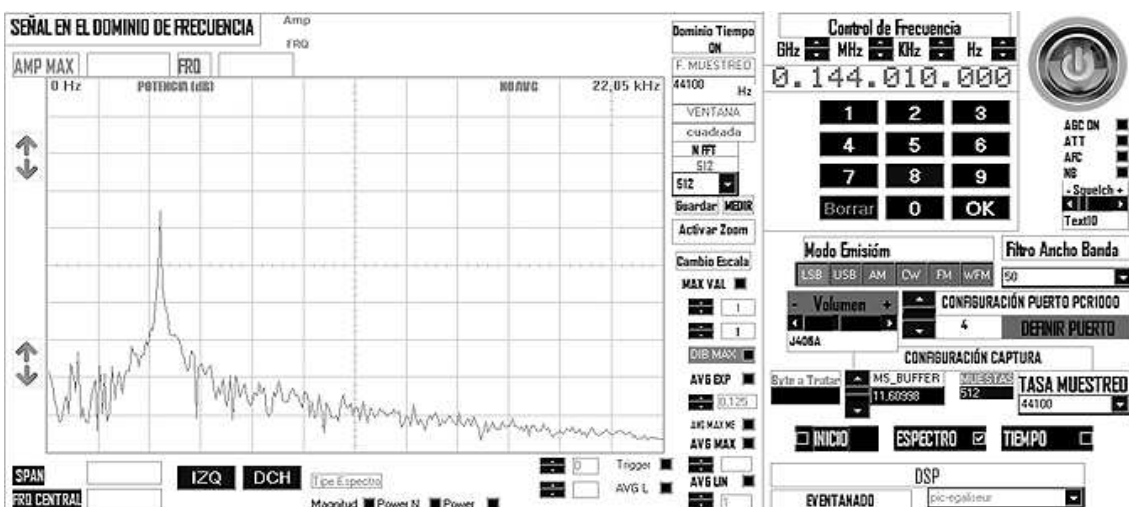
MODO BW VOLUMEN FS NFFT VENTANA  
LSB 2.8 kHz J406A 44100 512 CUADRADO



MODO BW VOLUMEN FS NFFT VENTANA  
LSB 50 J406A 44100 512 CUADRADO

## SOLO PORTADORA

FRECUENCIA RADIOTELEFONO MODO POTENCIA  
144.010.000 FM NW





FRECUENCIA RADIOTELEFONO	MODO	POTENCIA
144.010.000	FM- NW	LOW

[illegible]

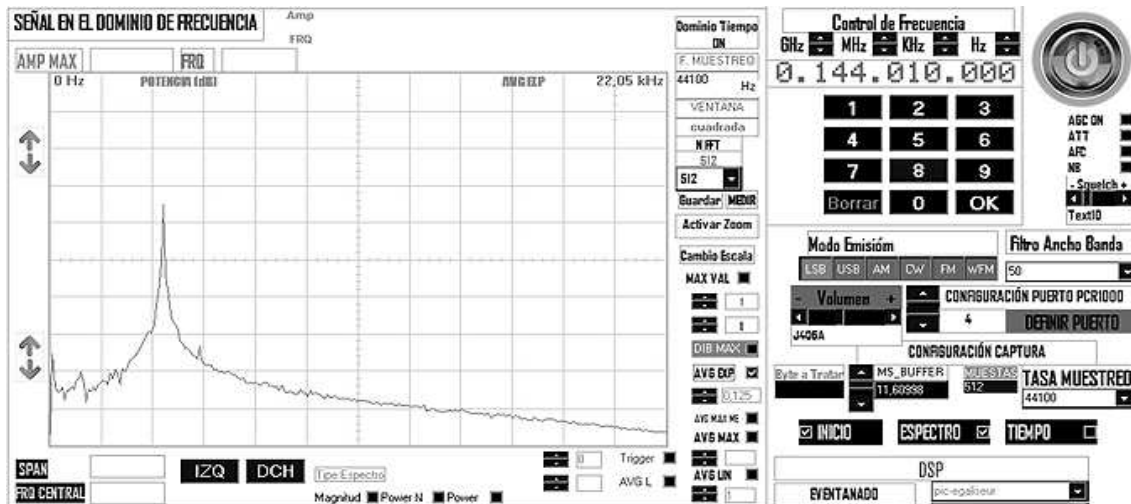
MODO	BW	VOLUMEN	FS	NFFT	VENTANA
LSB	50	J406A	44100	512	CUADRADO

SOLO PORTADORA

FRECUENCIA RADIOTELEFONO  
144.010.000

MODO POTENCIA  
FM- NW LOW

Aplicando el promediado AVG EXP



CARACTERISACIÓN DE LA SEÑAL



DESPLAZANDO LA FRECUENCIA DE 144.10 A 144.007

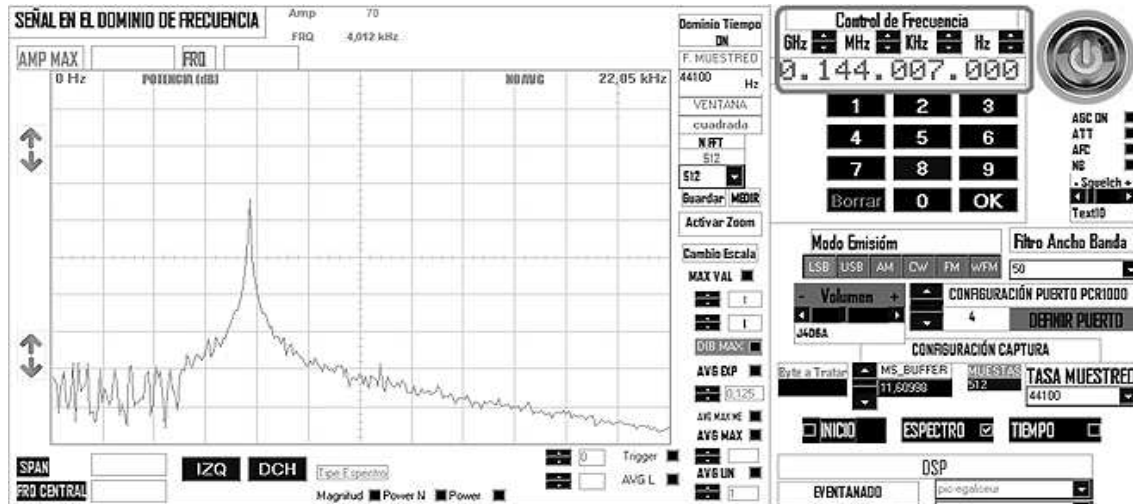
MODO	BW	VOLUMEN	FS	NFFT	VENTANA
LSB	50	J406A	44100	512	CUADRADO

SOLO PORTADORA

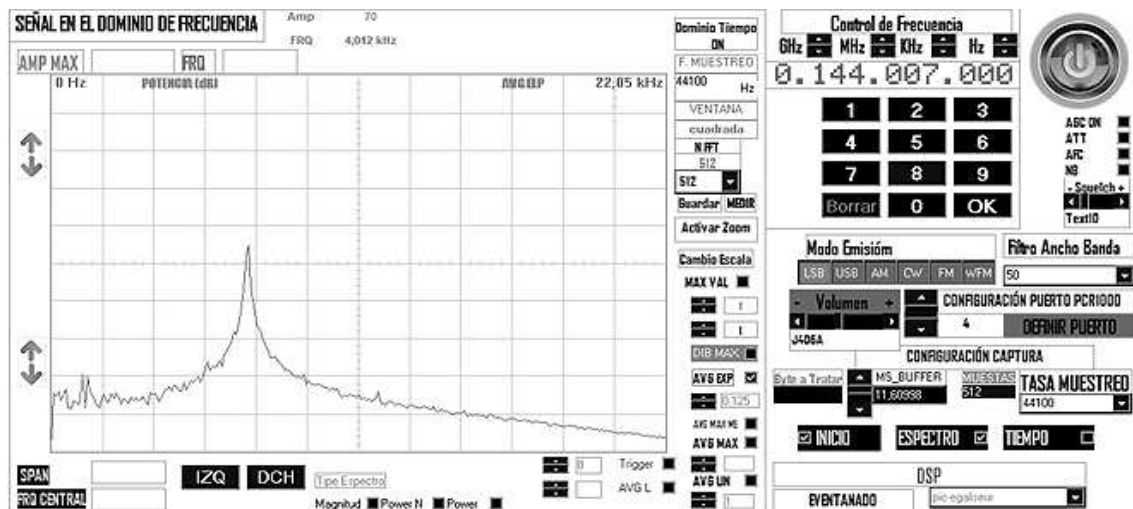
FRECUENCIA RADIOTELEFONO  
**144.010.000**

MODO  
FM- NW

POTENCIA  
LOW



Aplicando el promediado AVG EXP



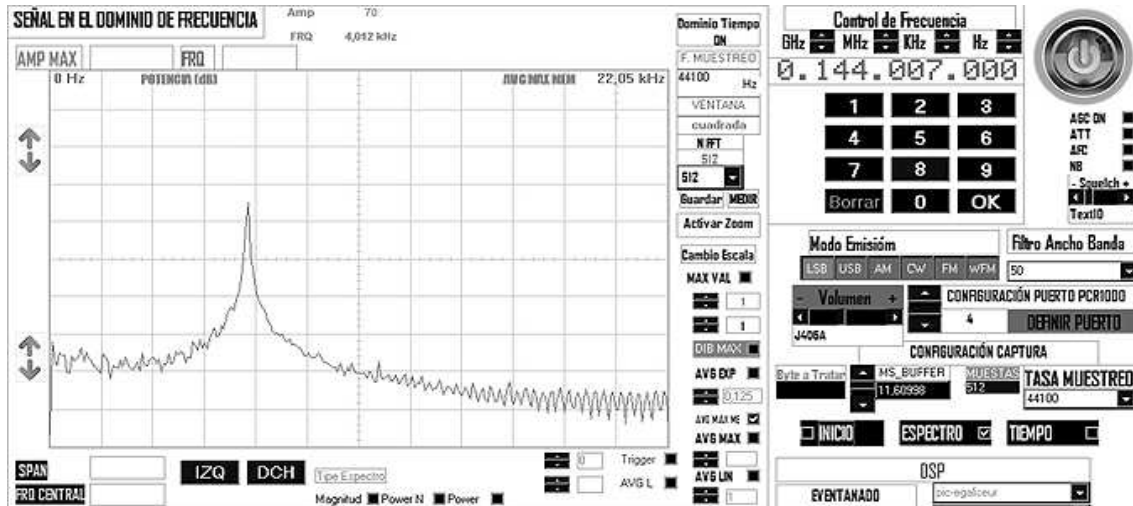
MODO                      BW                      VOLUMEN                      FS                      NFFT                      VENTANA  
 LSB                      50                      J406A                      44100                      512                      CUADRADO

SOLO PORTADORA

FRECUENCIA RADIOTELEFONO  
**144.010.000**

MODO  
 FM- NW

POTENCIA  
 LOW



SE CAMBIA BW DEL ICOM

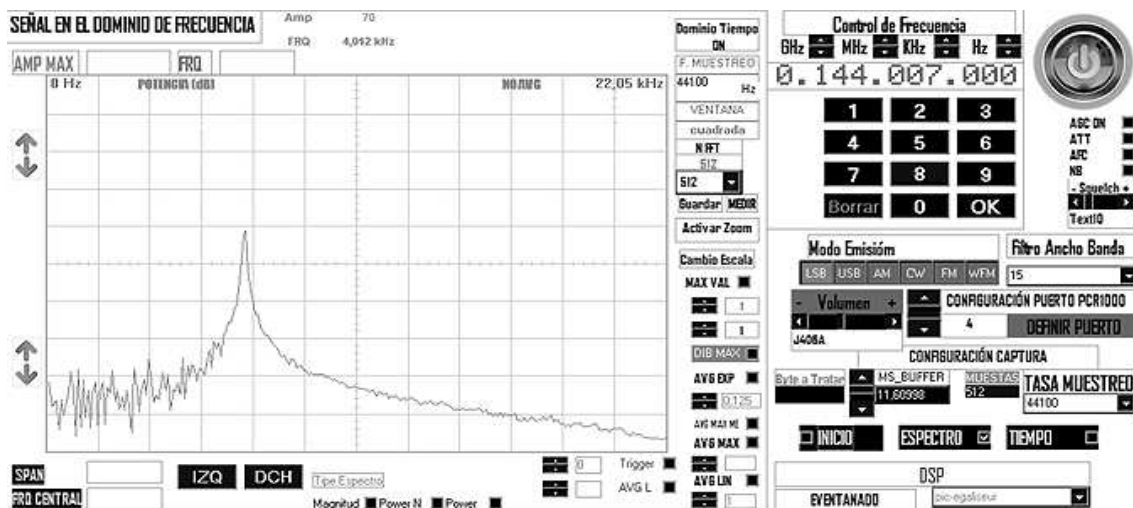
MODO                      BW                      VOLUMEN                      FS                      NFFT                      VENTANA  
 LSB                      15                      J406A                      44100                      512                      CUADRADO

SOLO PORTADORA

FRECUENCIA RADIOTELEFONO  
**144.010.000**

MODO  
 FM- NW

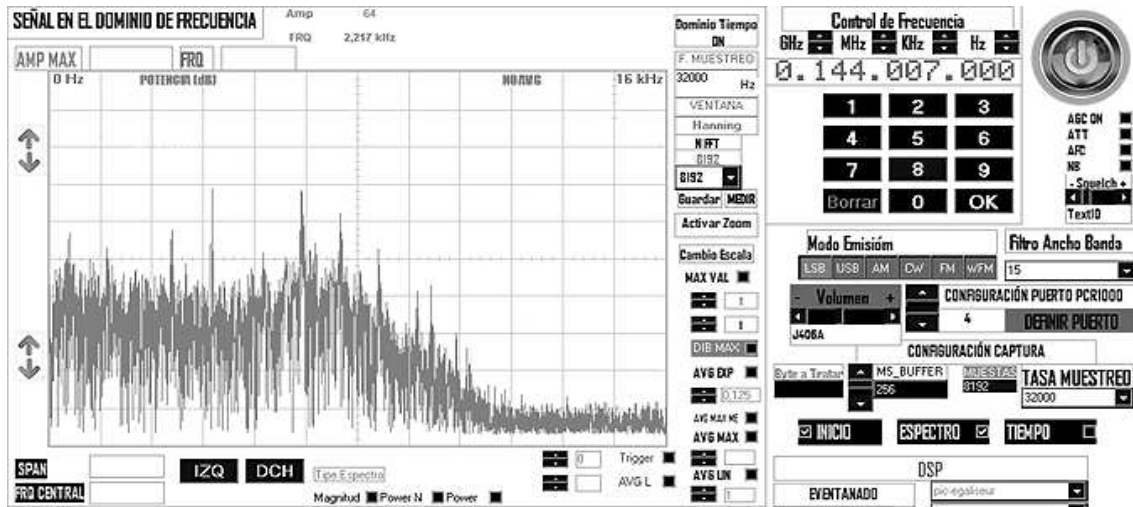
POTENCIA  
 LOW



SE CAMBIA FFT Y SE APLICA UNA VENTANA Y PROMEDIADO

MODO	BW	VOLUMEN	FS	NFFT	VENTANA
LSB	15	J406A	44100	8192	HANNING

SIN EMISIÓN



MODO	BW	VOLUMEN	FS	NFFT	VENTANA
LSB	15	J406A	44100	8192	HANNING

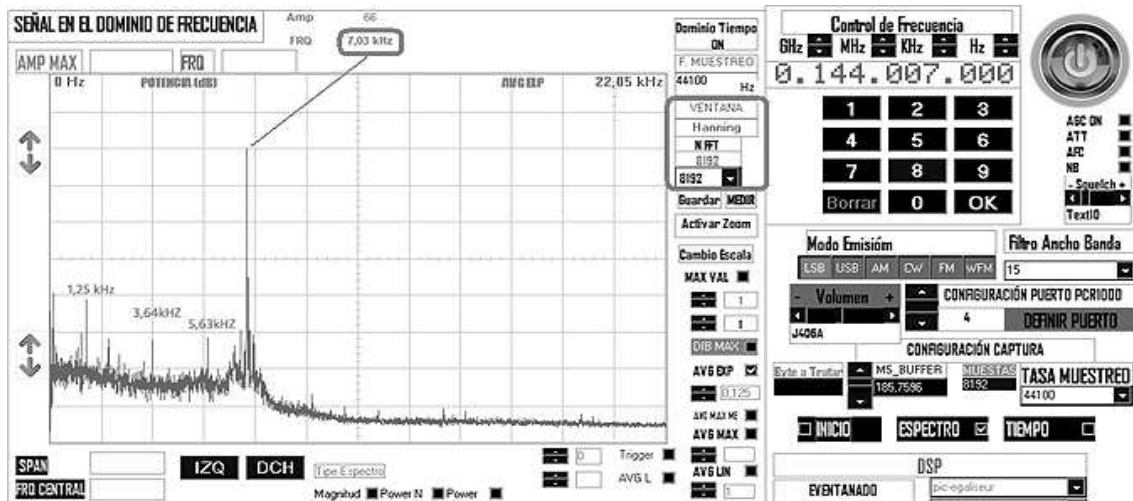
SOLO PORTADORA

FRECUENCIA RADIOTELEFONO  
**144.010.000**

MODO  
FM- NW

POTENCIA  
LOW

PROMEDIADO AVG EXP



MODO	BW	VOLUMEN	FS	NFFT	VENTANA
LSB	15	J406A	44100	8192	HANNING

FRECUENCIA RADIOTELEFONO	MODO	POTENCIA
144.010.000	FM- NW	LOW

**SEÑAL EN EL DOMINIO DE FRECUENCIA**

Amp 30  
FRQ 1,200 kHz

AMP MAX FRQ

0 Hz POTENCIA (dBm) 7,025 kHz NORMG 16 kHz

7,095 kHz 1,282 kHz

SPAN FREQ CENTRAL

IZQ DCH Tipo Espectro

Magnitud Power N Power

Dominio Tiempo ON

F. MUESTREO 32000 Hz

Ventana Hanning

N FFT 8192

Guardar MENÚ

Activar Zoom

Cambio Escala

MAX VAL

DIB MAX

AVG EXP

AVG MAX MS

AVG MAX

AVG L

Trigger

Control de Frecuencia

GHz MHz kHz Hz

0.144.007.000

1 2 3

4 5 6

7 8 9

Borrar 0 OK

Modo Emisión

LSB USB AM CW FM WPM

Filtro Ancho Banda 15

Volúmen

CONFIGURACIÓN PUERTO PC1000

406A 4 DEFINIR PUERTO

CONFIGURACIÓN CAPTURA

Byte a Transferir

MS\_BUFFER 256

MUESTRAS 8192

TASA MUESTREO 32000

INICIO ESPECTRO TIEMPO

DSP

EVENTANADO

opc-egaleira

MODO	BW	VOLUMEN	FS	NFFT	VENTANA
LSB	15	J406A	44100	8192	HANNING

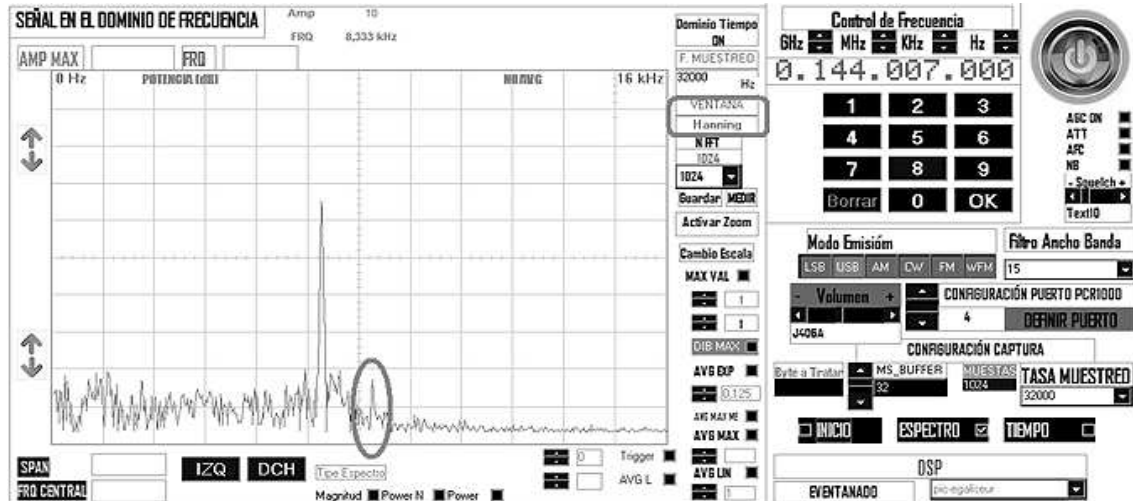
FRECUENCIA RADIOTELEFONO	MODO	POTENCIA
144.010.000	FM- NW	LOW



MOD0	BW	VOLUMEN	FS	NFFT	VENTANA
LSB	15	J406A	44100	1024	HANNING

FRECUENCIA RADIOTELEFONO	MODO	POTENCIA
<b>144.010.000</b>	FM- NW	LOW

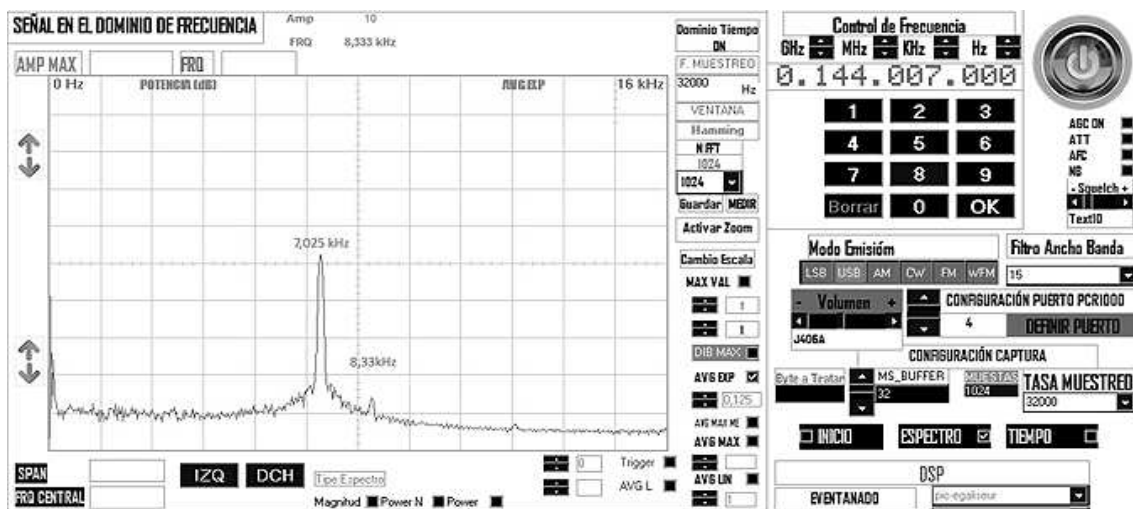
SIN PROMEDIADO



MODO	BW	VOLUMEN	FS	NFFT	VENTANA
LSB	15	J406A	44100	1024	HAMMING

FRECUENCIA RADIOTELEFONO	MODO	POTENCIA
<b>144.010.000</b>	FM- NW	LOW

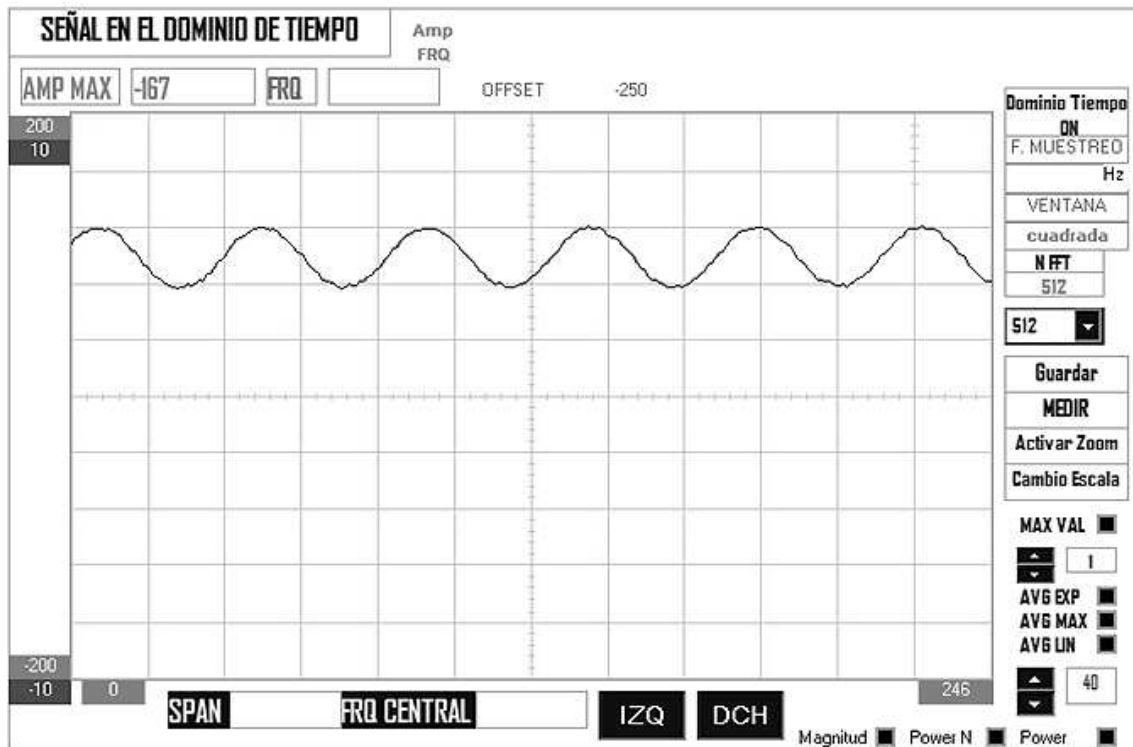
PROMEDIADO EXP



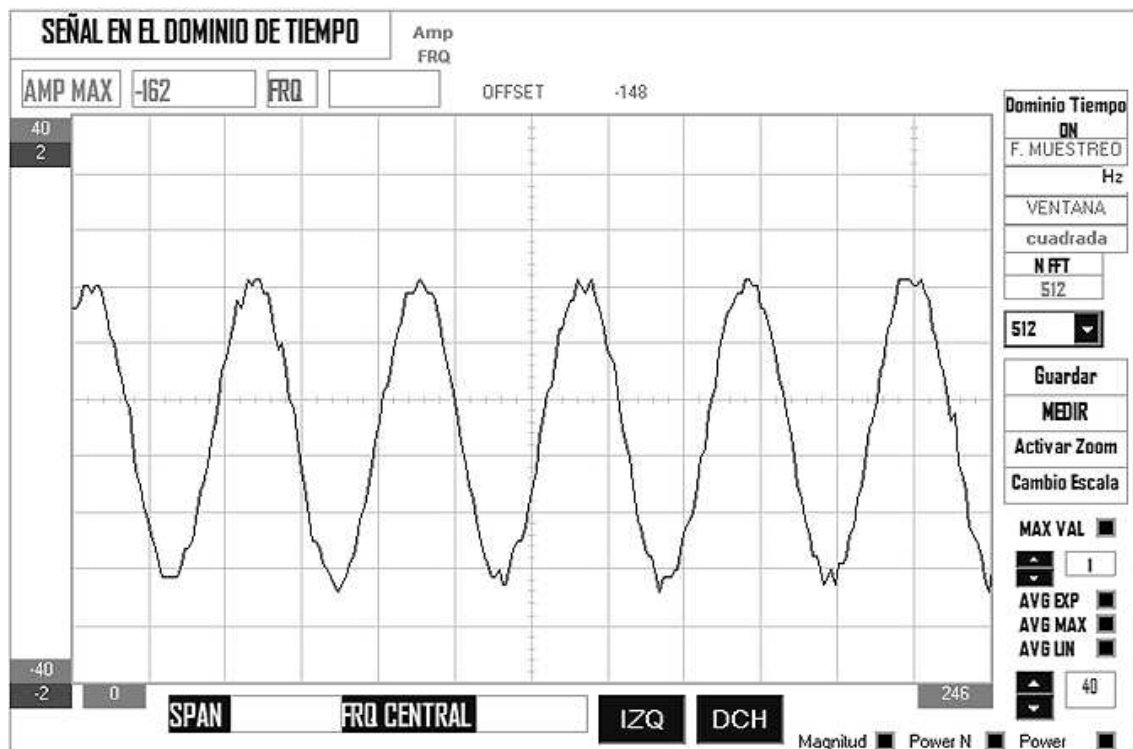
# MEDICIONES

## DETECTAR SEÑALES DE AMPLITUD PEQUEÑA

1mVpp



1mVpp



# MEDICIONES

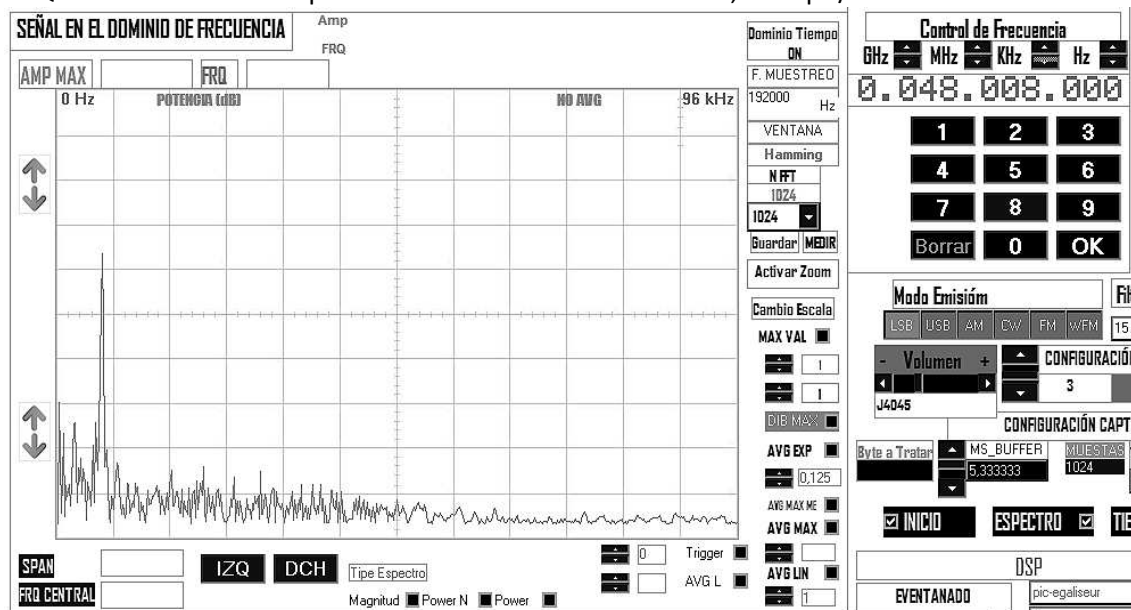
## Test de Compatibilidad Electromagnética

### Ensayo HVAC-B - Fecha 2015\_06\_08

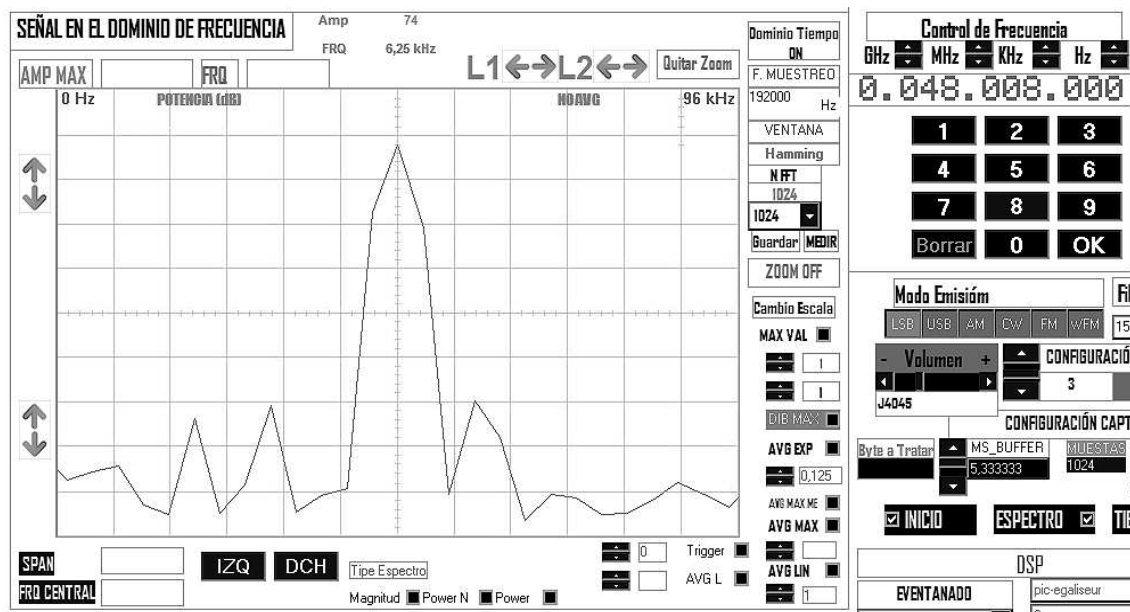


INTERFERENCIA DETECTADA

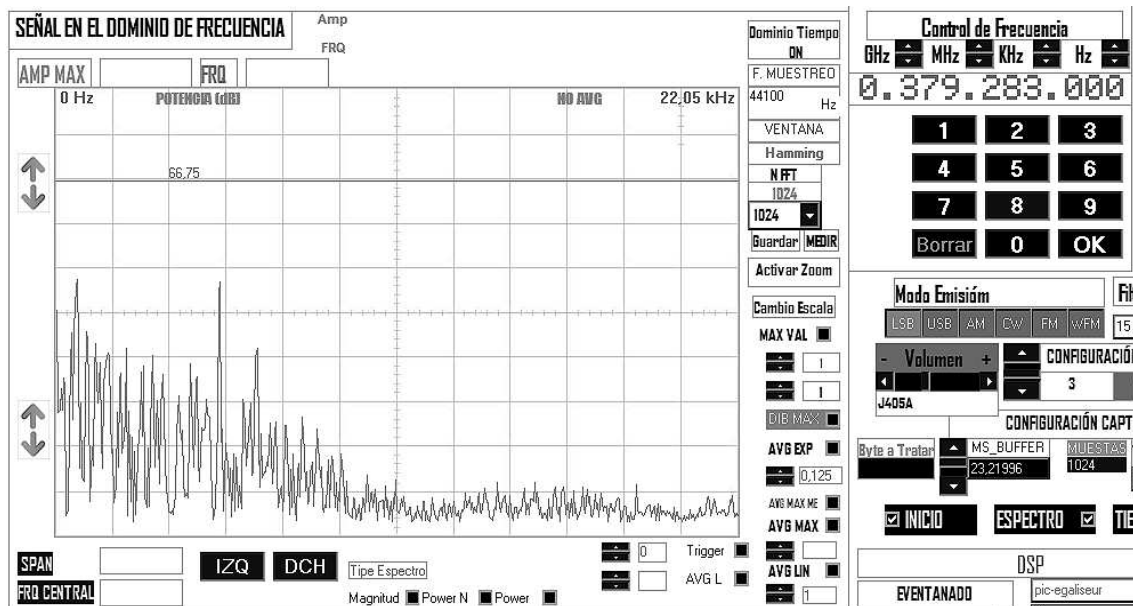
FRQ INDICADA POR la empresa certificador 48 MHZ NIVEL 35,54 dBμV/m



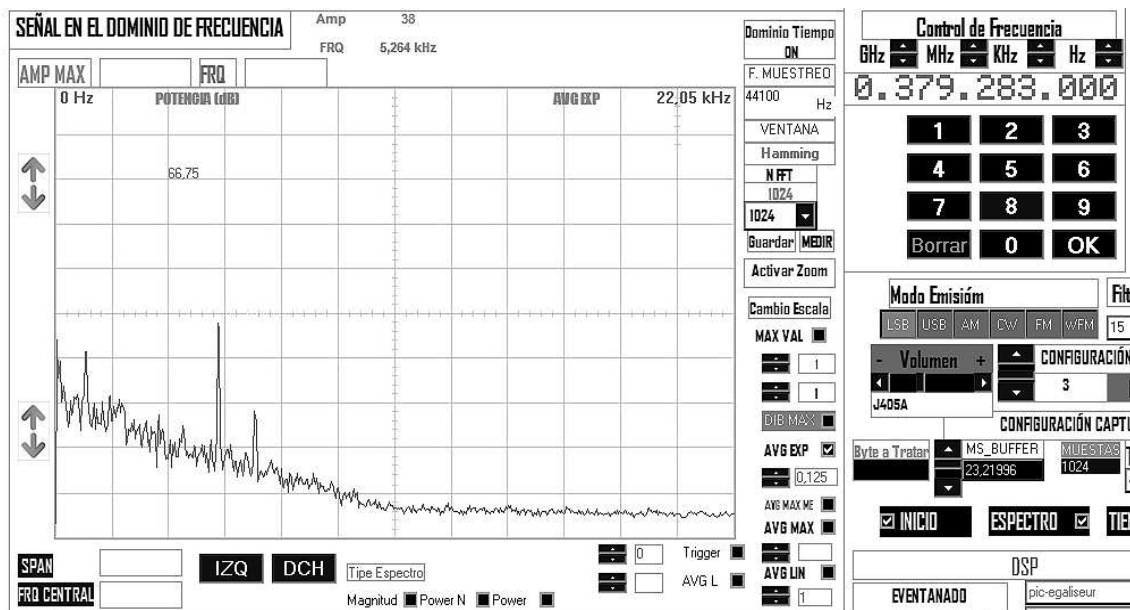
Aplicando un zoom al pico



Frecuencia indicada por la empresa certificadora: FRE 379,28MHZ, NIVEL 46,8 dBμV/m  
POLARIZACIÓN VERTICAL

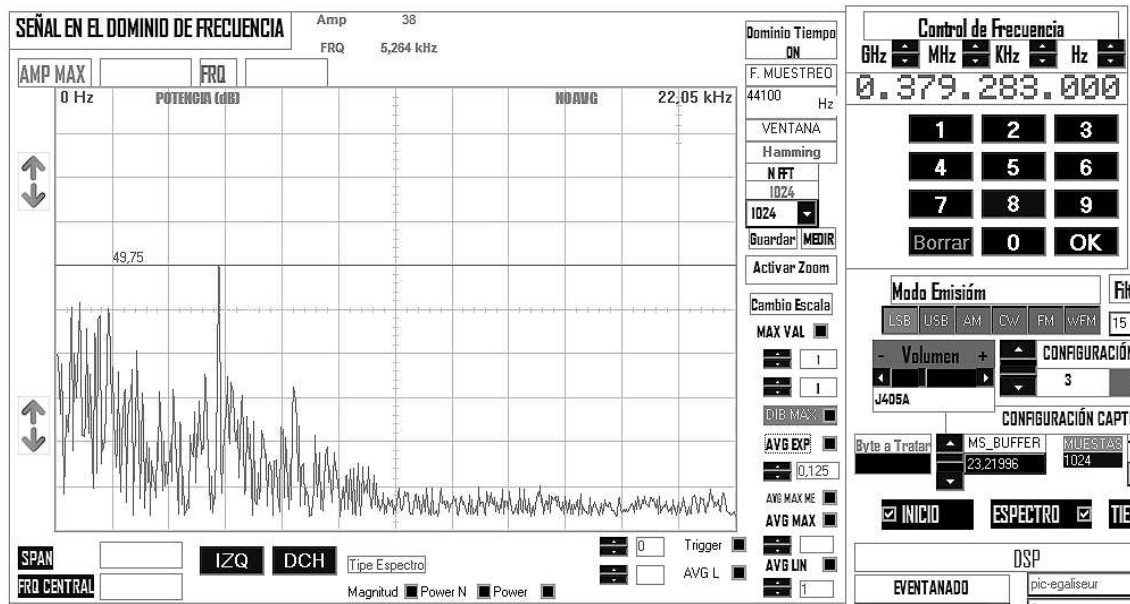


Aplicando un promediado tipo AVG se puede observar mejor la interferencia. Se mide la frecuencia del pico 5,264kHz.

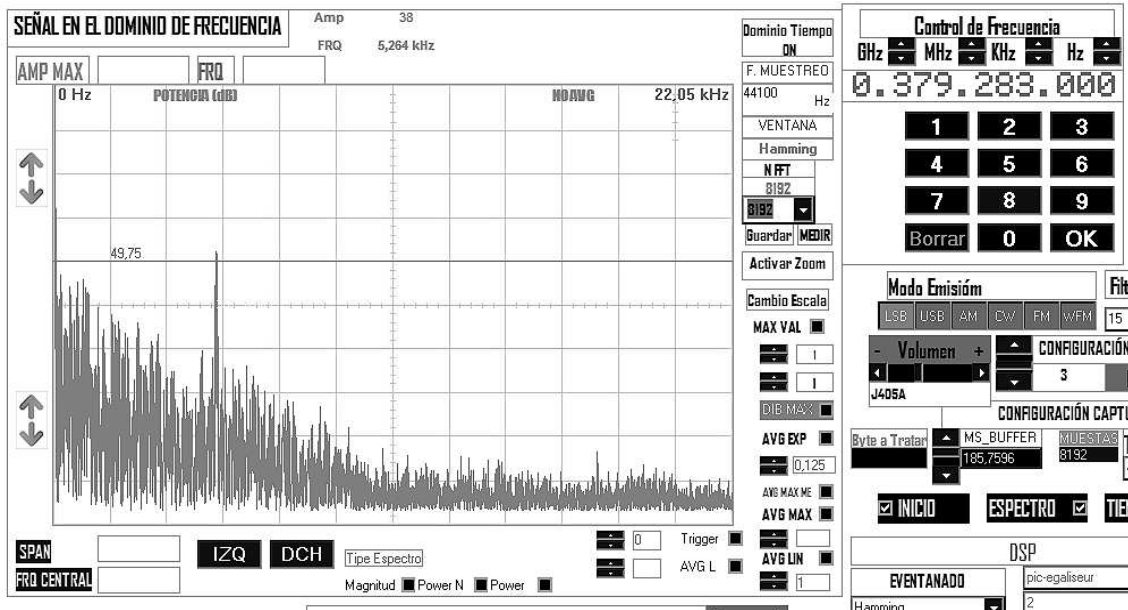


Se vuelve en medir sin aplicar promediado y se mide el nivel de la señal

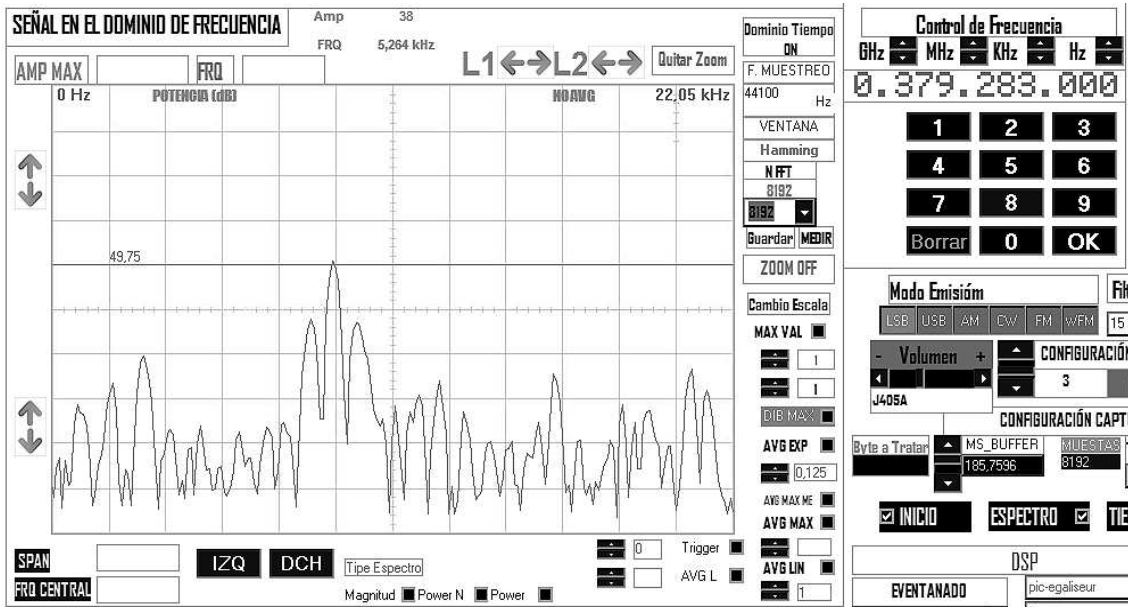
Nivel obtenido 49,75 dBμV

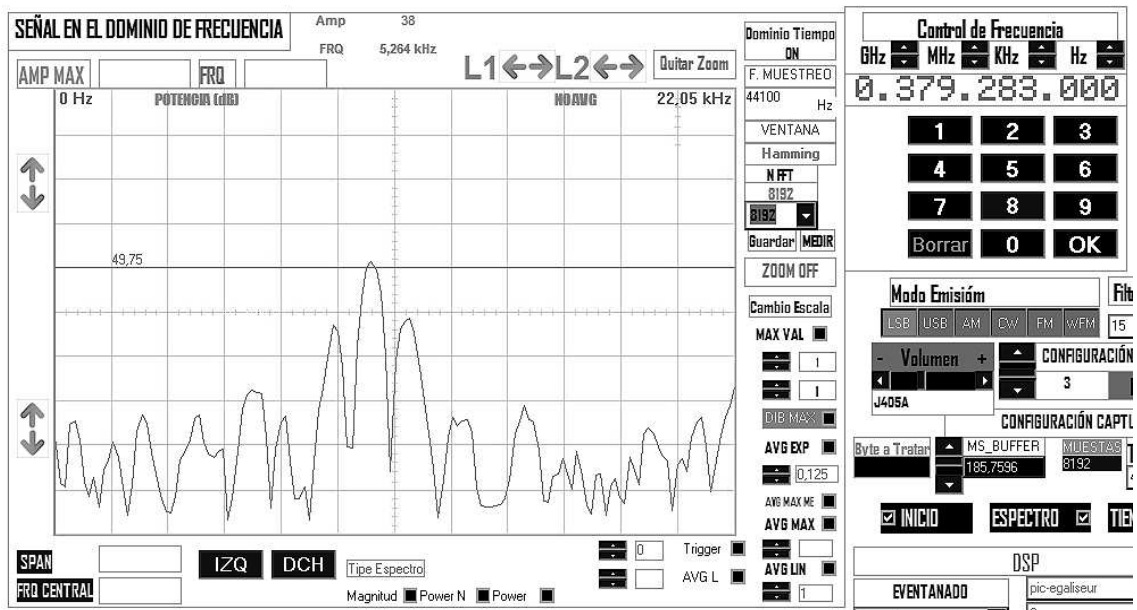


Se cambia el numero de puntos FFT de 1024 a 8192



Se aplica el zoom





# MEDICIONES

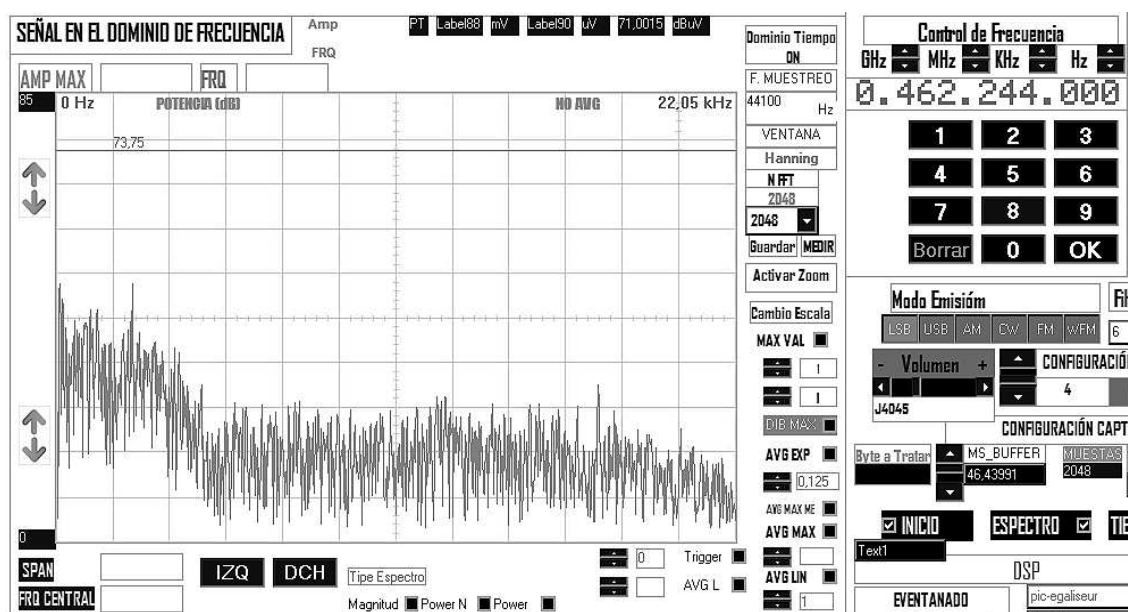
## Test de Compatibilidad Electromagnética

### Ensayo HVAC-L CARA D - Fecha 2015\_06\_10

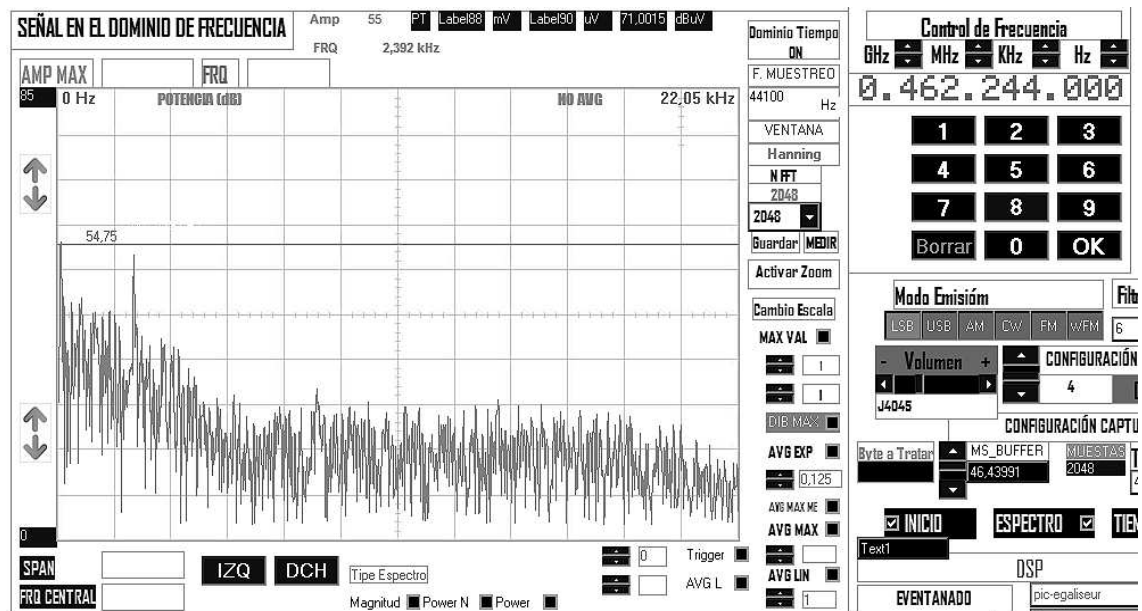
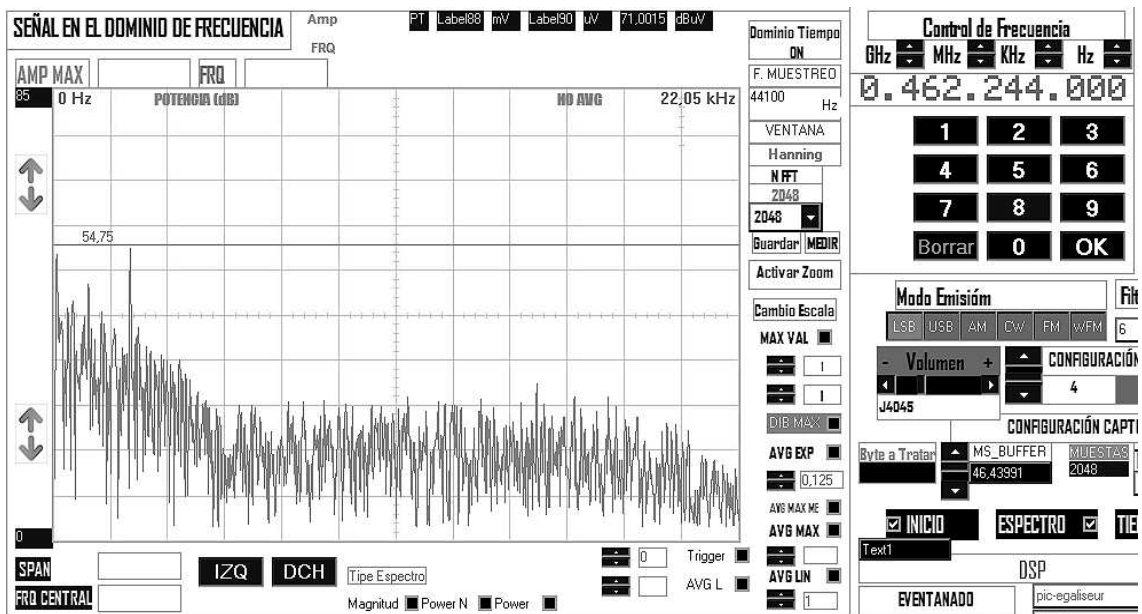
Fecha 2015\_06\_10 Ensayo HVAC-L CARA D



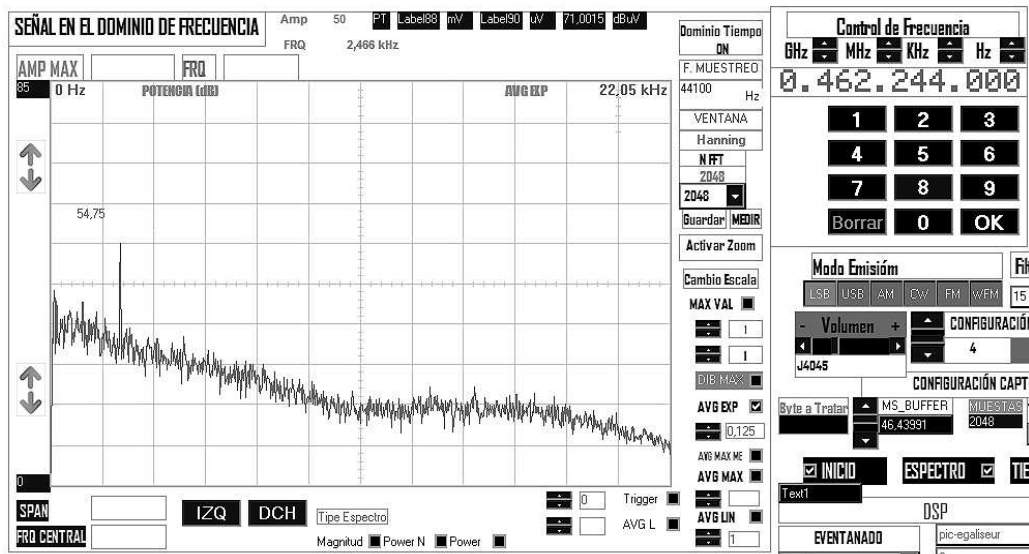
Frecuencia indicada por la empresa certificador 462.24 MHz Nivel 51,5



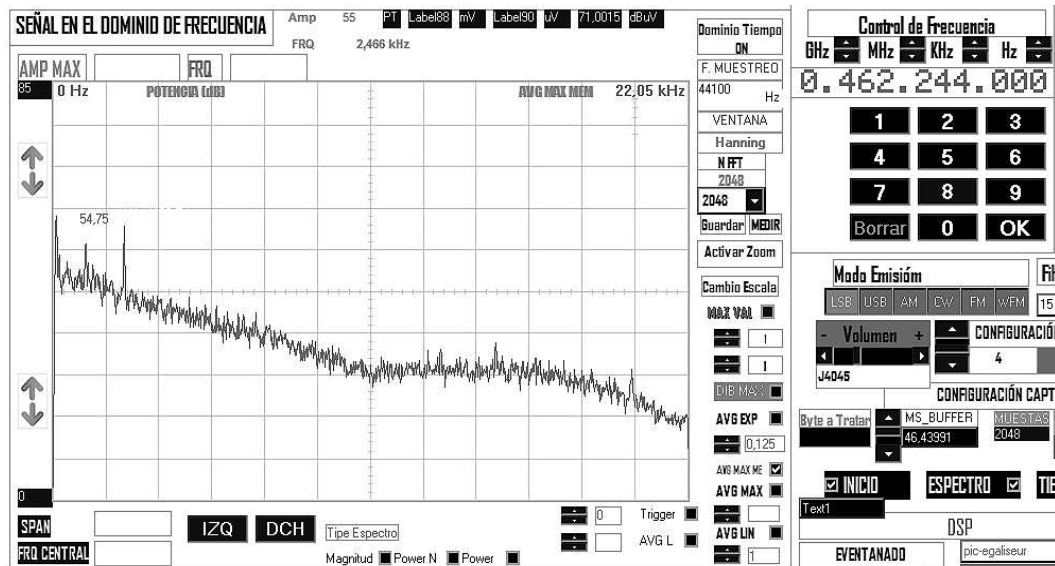




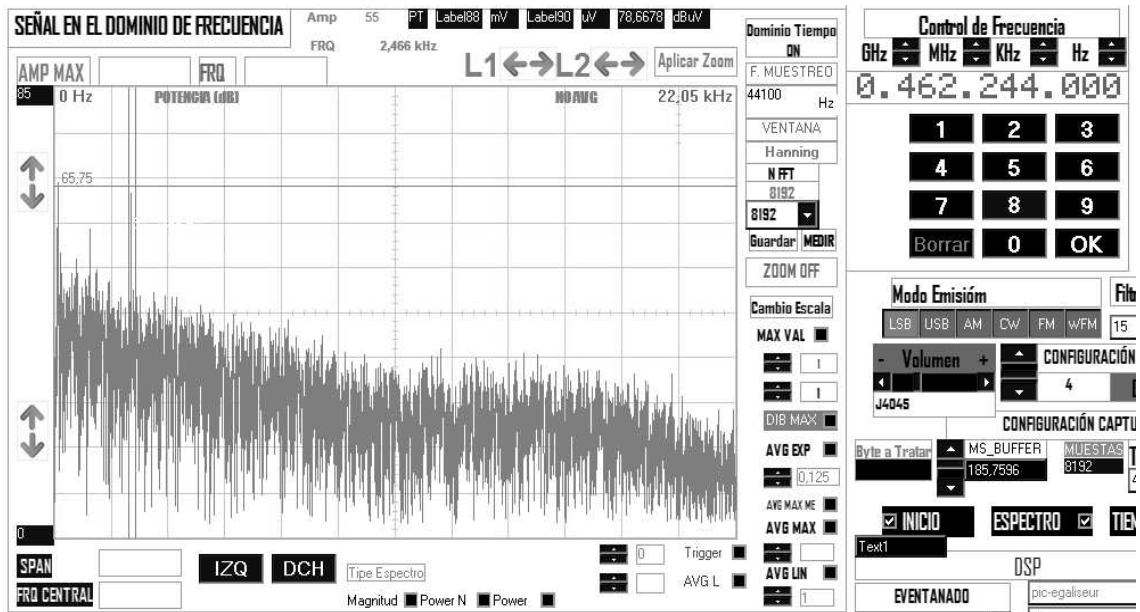
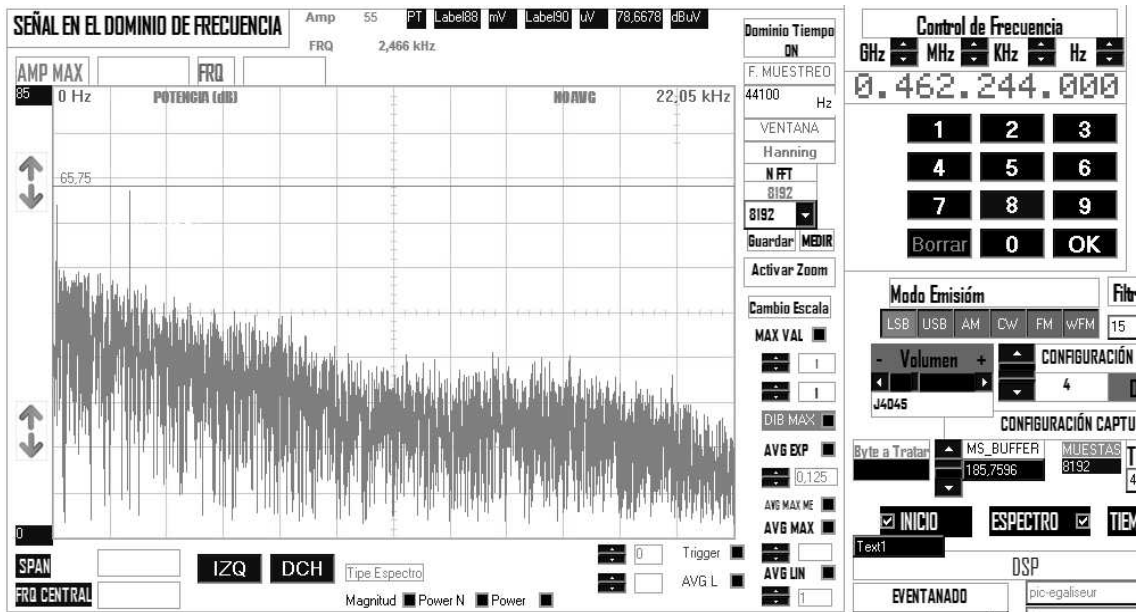
## AVG EXP con FRQ Y NIVEL MEDIDO



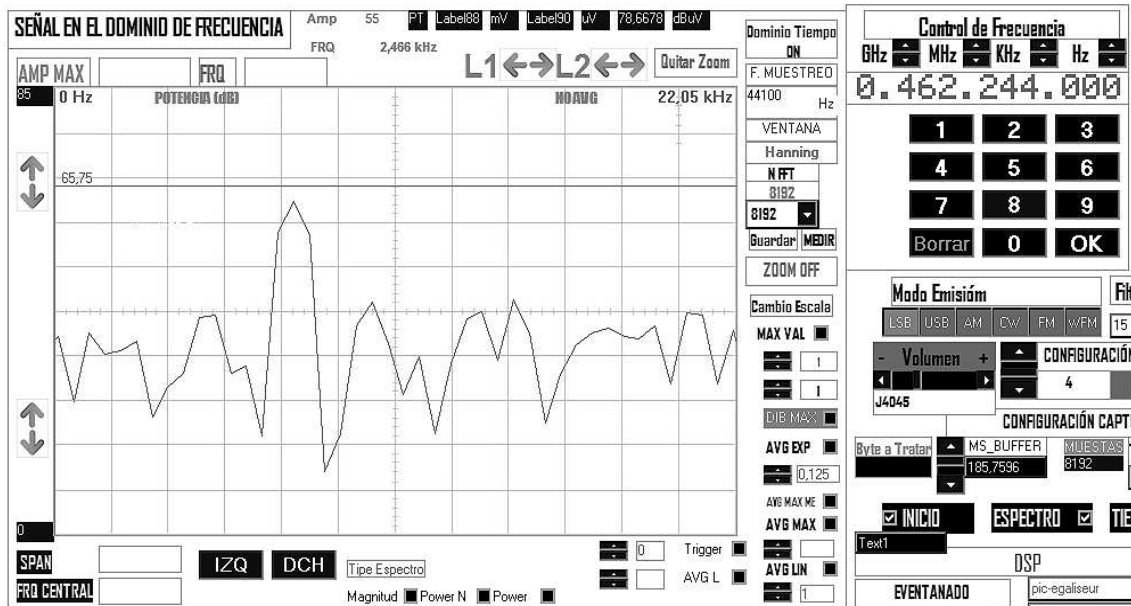
## AVG MAX PEAK CON FRQ Y AMPL



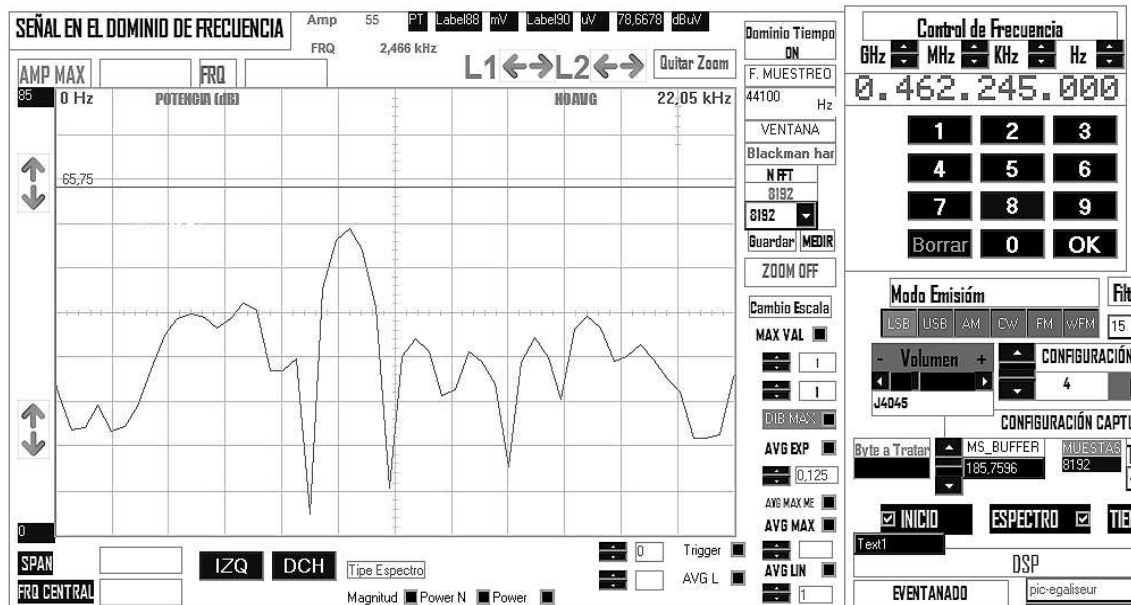
AUMENTAR FFT



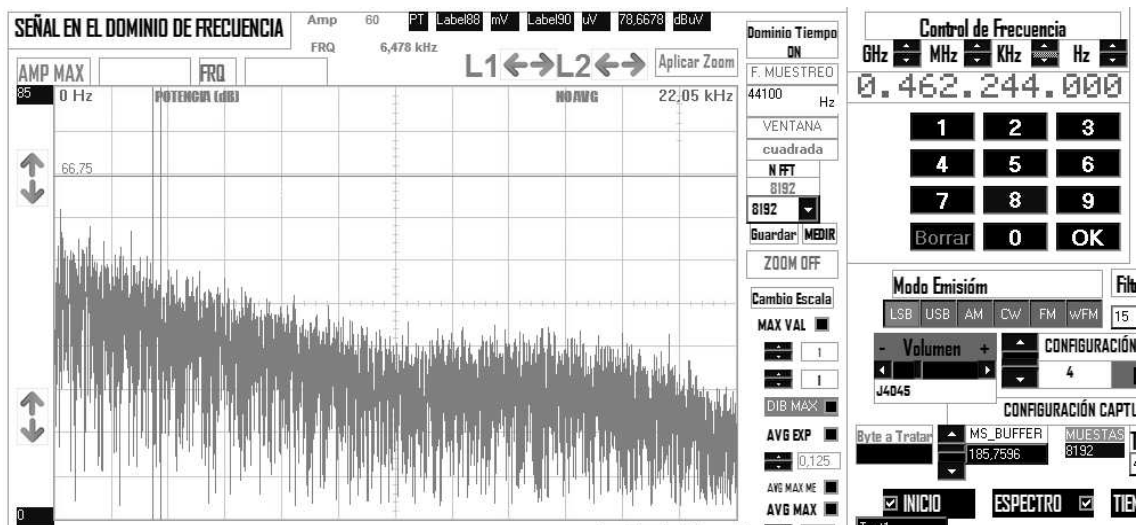
Aplicando un zoom sobre la señal .  
Ventana aplicada Hanning



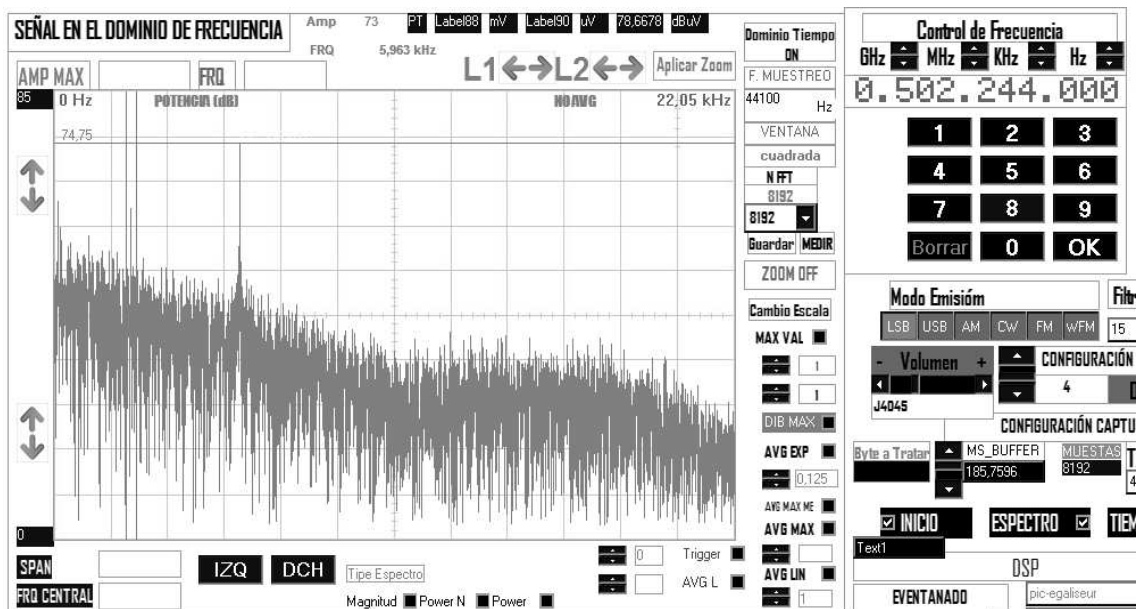
Cambiando el tipo de ventana a BLACKMAN HARIS y desplazar la frecuencia del ICOM

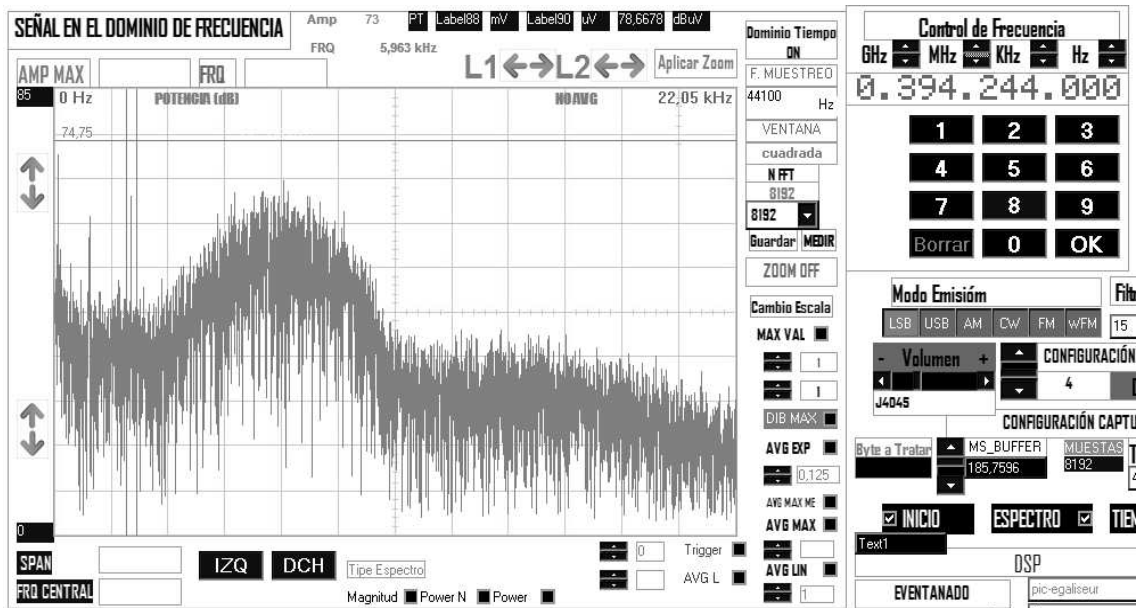


Parada de la maquina: desaparece la interferencia

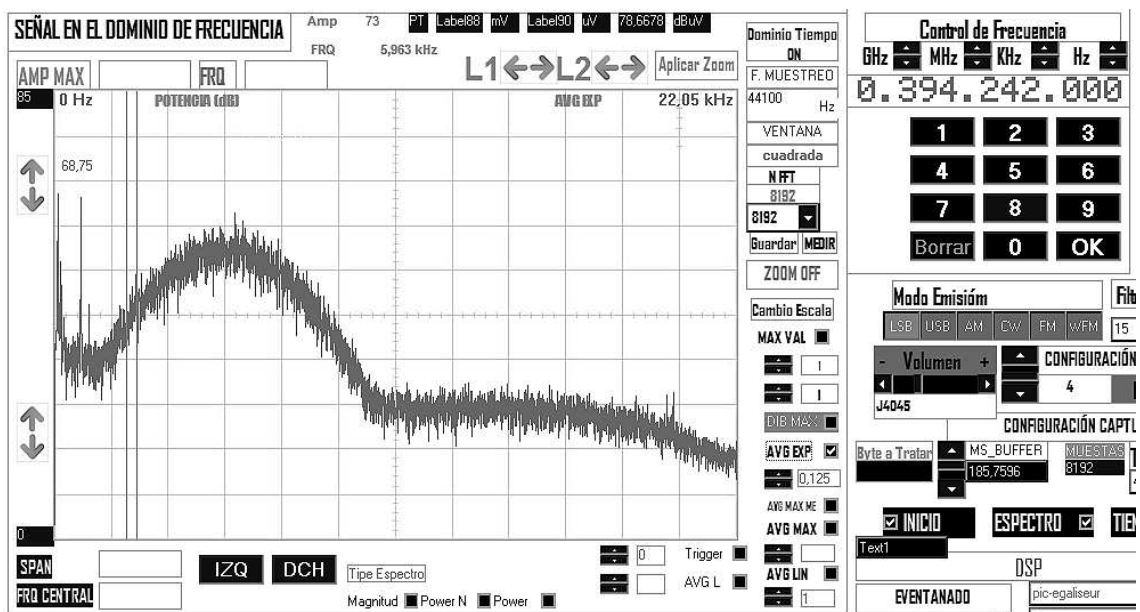


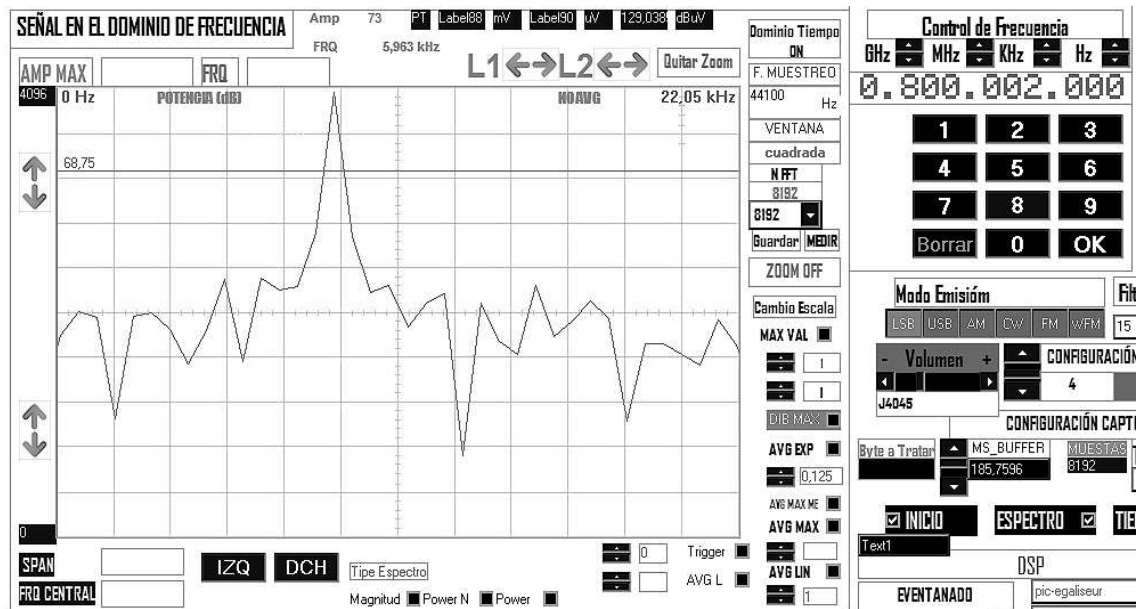
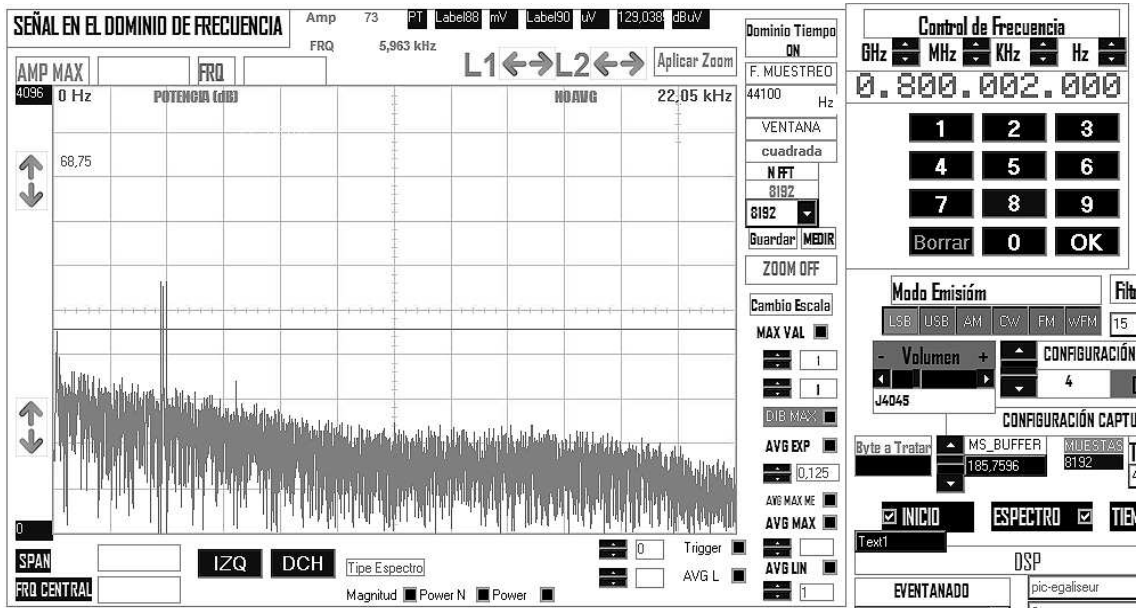
Ruido de fondo con maquina parada



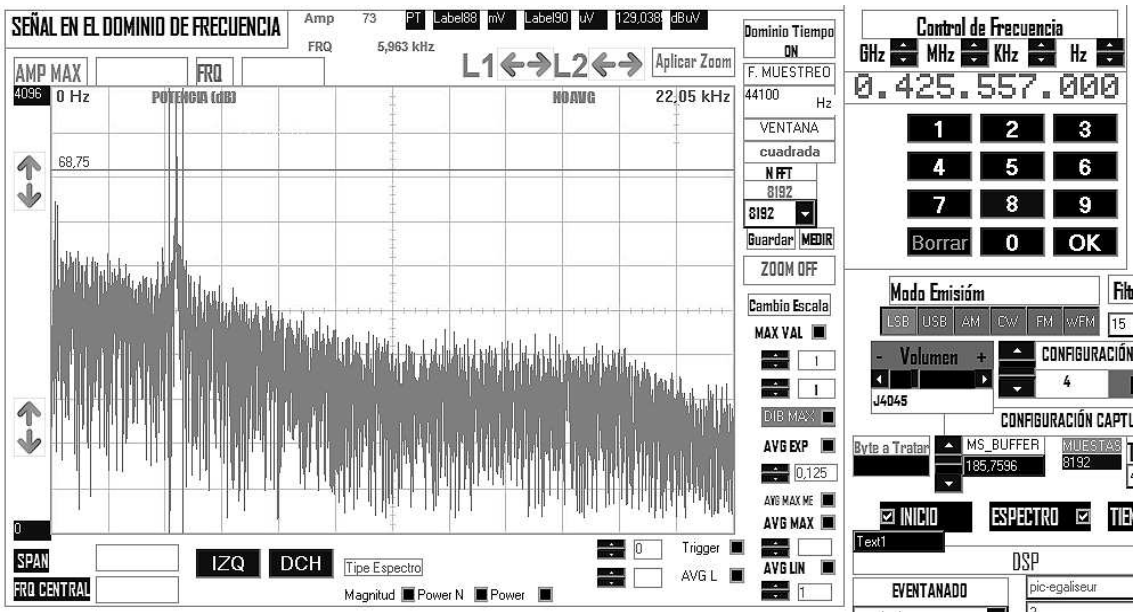


Aplicando promediado tipo EXP

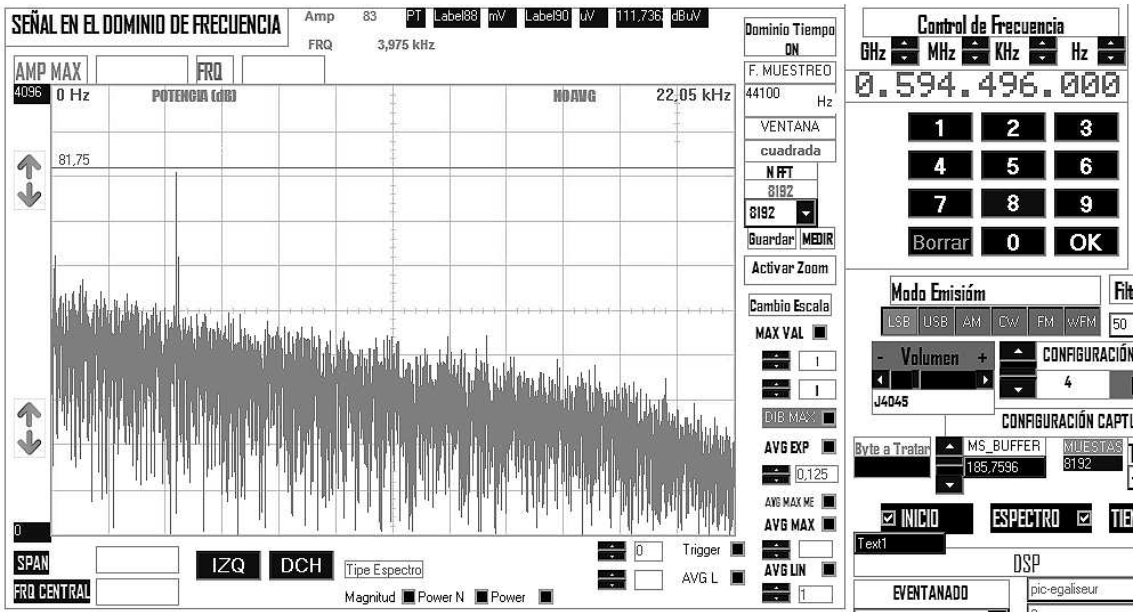




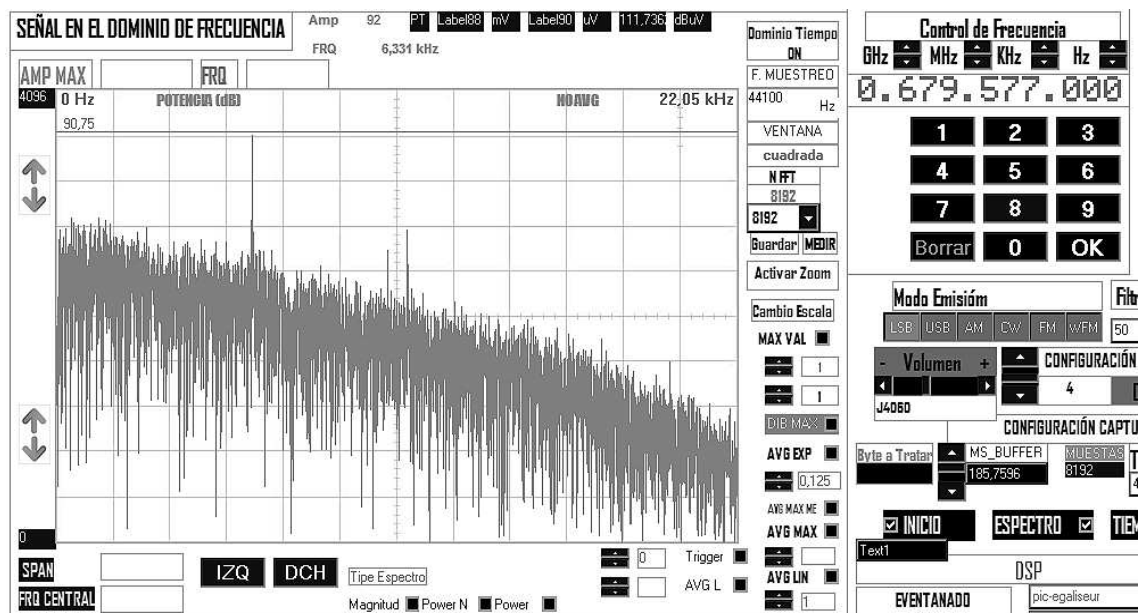
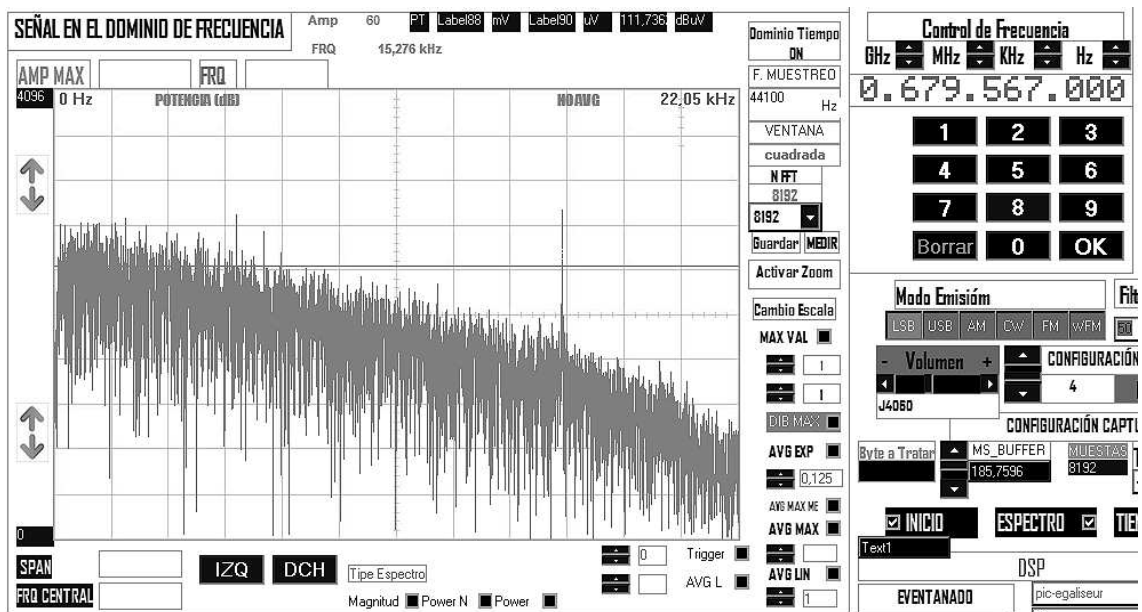
Frecuencia indicada por la empresa certificador 425.56MHZ, nivel 56 dBμV/m  
Nivel medido por mi metodo: 68,75 dBμV



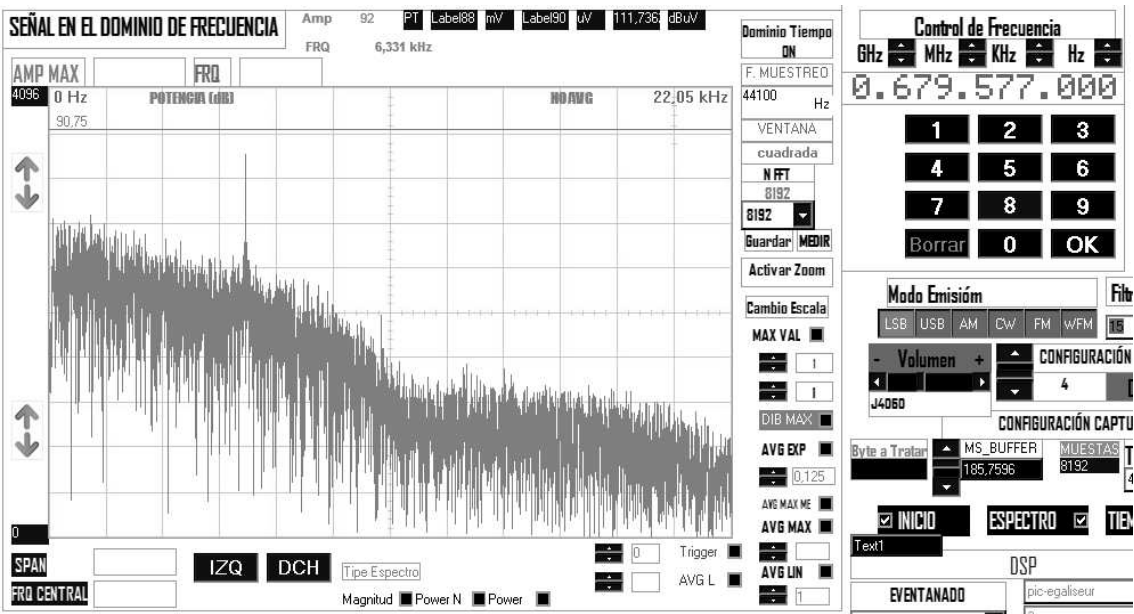
Otra interferencia detectada







Cambiar filtro BW de 50 a 15



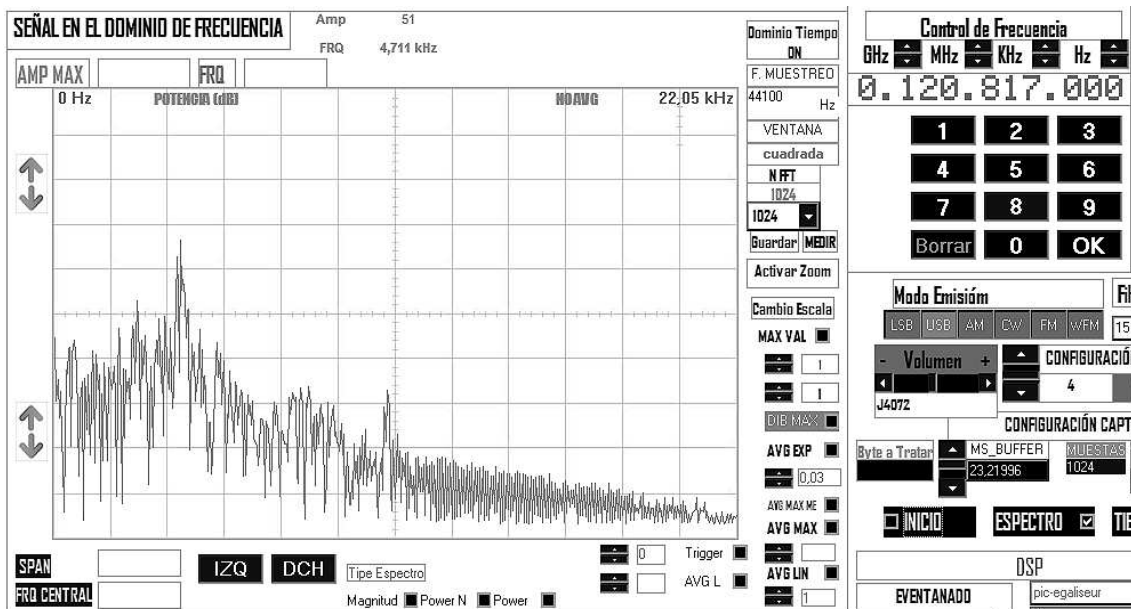
# MEDICIONES

## Test de Compatibilidad Electromagnética

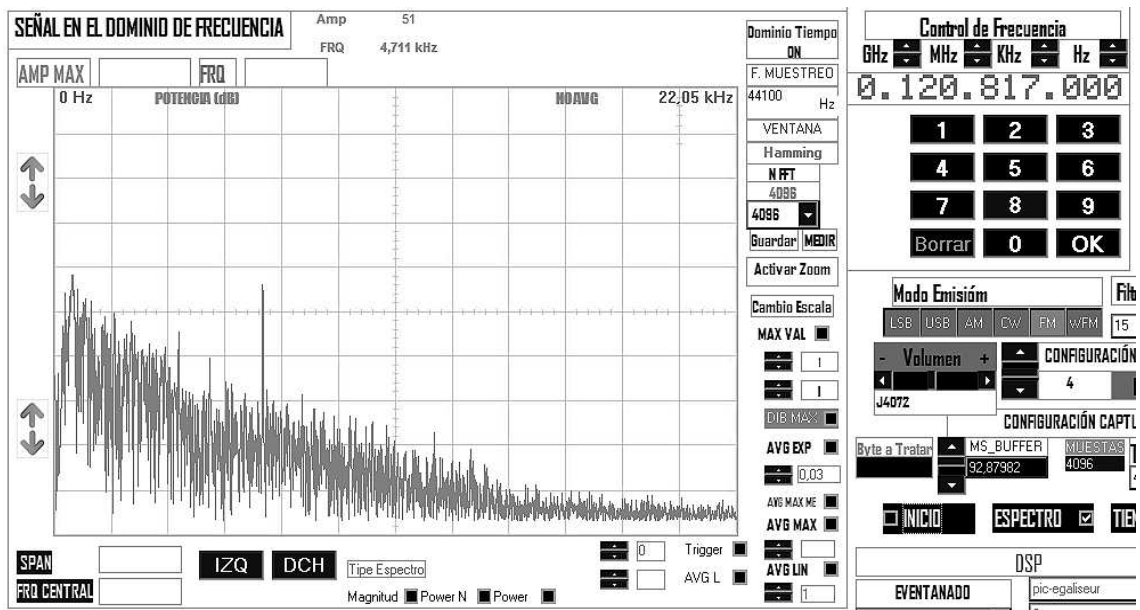
### Ensayo HVAC-I- Fecha 2015\_06\_02



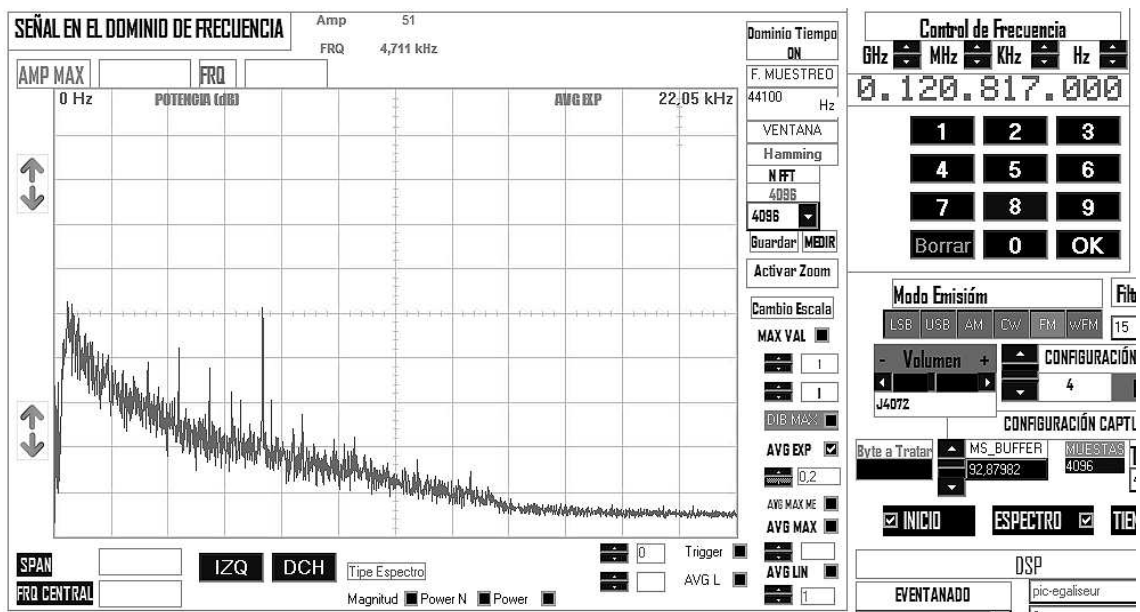
Se detecta una interferencia en 120,76 MH



Aumentando el numero de puntos FFT de 1024 a 4096 podemos identificar mejor la interferencia.



Aplicando un promediado de tipo EXP con  $\alpha=0,2$



Cambiado el modo de recepción de FM a LSB

